



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

**SIMULACE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI A REÁLNÉ
UŽÍVÁNÍ BUDOV**

SIMULATION OF ENERGY PERFORMANCE AND REAL OPERATION OF BUILDINGS

DISERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Libor Šteffek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. MILAN OSTRÝ, Ph.D.

BRNO 2020

Abstrakt

Disertační práce se zabývá zejména experimentálním měřením spotřeb energií vybraného energeticky pasivního rodinného domu a teoretickým výzkumem v oblasti energetické náročnosti pomocí počítačových simulací. Výsledky kvazistacionárních i dynamických simulací, s měněnými výpočtovými i reálně naměřenými klimatickými daty, jsou porovnávány s experimentálním měřením.

Pomocí dynamického výpočtového modelu, který byl ověřován skutečně naměřenými daty, byl analyzován vztah mezi architektonicko-konstrukčním řešením a energetickou náročností budovy. Byl pozorován vliv vybraných různých provozních režimů na spotřebu tepla na vytápění, chlazení, větrání a přehřívání interiéru. Výsledek vzájemné interakce několika vstupních parametrů dává podklad k optimalizaci celého návrhu.

Klíčová slova

Energetická náročnost budov; Pasivní dům; Experimentální měření; Simulace energetické náročnosti; Klimatická data; Dynamické simulace; Optimalizace.

Abstract

This dissertation thesis primarily focuses on the experimental measurement of energy consumption of a given energy-passive family house as well as theoretical research in the field of energy calculations using computer simulations. The results of quasi-stationary and dynamic simulations, with varying computational and real-time climate data, are compared with experimental measurements.

Using the dynamic calculation model, which was validated by actually measured data, the relationship between architectural design and the energy performance of the building was analyzed. The influence of selected different operating modes for heat consumption on heating, cooling, ventilation, and interior overheating is observed. The result of the mutual interaction of several input parameters of variant solutions provides the basis for optimization of the whole design.

Keywords

Energy Performance of Buildings; Passive house; Experimental Measurements; Simulation of Energy Performance; Climatic Data; Dynamic Simulations; Optimization.

Bibliografická citace:

ŠTEFFEK, Libor. *Simulace energetické náročnosti a reálné užívání budov*. Brno, 2020. 181 s., 31 s. příl. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí práce doc. Ing. Milan Ostrý, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem disertační práci s názvem Simulace energetické náročnosti a reálné užívání budov zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....

Ing. Libor Šteffek

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval školiteli doc. Ing. Milanu Ostrému, Ph.D. za vedení mé disertační práce a jeho ochotu, pomoc a trpělivý přístup v rámci studia v doktorském studijním programu. Stejně tak kolegovi Ing. Petru Jelínkovi za pomoc při experimentálních měřeních na reálných budovách.

Dále pak manželům Tomkovým a Valehrachovým za náklonnost k výzkumu a zpřístupnění jejich domů a do jisté míry i soukromí.

Děkuji mé rodině za veškerou a komplexní podporu v průběhu mého studia.

V neposlední řadě velké poděkování za pochopení, trpělivost, psychickou a morální podporu patří mé manželce Katarzyně a dětem Verunce a Kubíčkoví.

Obsah:

1 ÚVOD.....	10
1.1 Struktura práce.....	11
1.2 Vědecké metody	12
2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	13
2.1 Energeticky úsporné stavby	13
2.1.1 Budova s téměř nulovou spotřebou energie (NZEB)	17
2.1.2 Nízkoenergetický dům (NED)	18
2.1.3 Pasivní dům (EPD).....	18
2.1.4 Nulový dům.....	21
2.1.5 Aktivní dům.....	21
2.2 Vývoj energetického hodnocení	22
2.3 Legislativa související s energetickou náročností budov	25
2.3.1 Zákon 406/2000 Sb., o hospodaření energií.....	26
2.3.2 Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov.....	26
2.3.3 ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov.....	27
2.4 Energetická náročnost budov (ENB) a její hodnocení.....	28
2.4.1 Celková dodaná energie za rok	31
2.5 Metody výpočtu energetické náročnosti budov	32
2.5.1 Zjednodušené metody energetické bilance	32
2.5.1.1 Bilanční hodnocení	33
2.5.1.2 Výpočet spotřeby energií dle ČSN EN ISO 13 790	33
2.5.1.3 Denostupňová metoda	34
2.5.1.4 NKN (Národní kalkulační nástroj).....	35
2.5.1.5 Energie (K-cad s.r.o.).....	36
2.5.1.6 PHPP (Passivhaus Projektierungspaket).....	37
2.5.2 Dynamické simulační řešení energetické bilance.....	38
2.5.2.1 Simulace jako vědecká metoda.....	39
2.5.2.2 Počítačová simulace.....	39
2.5.2.3 Simulační softwary	40
2.5.2.4 BSim.....	41
2.5.2.5 DesgnBuilder.....	41
2.5.2.6 ESP-r	42
2.5.2.7 TRNSYS.....	43
2.6 Energetická optimalizace.....	44
2.7 Měření fyzikálních veličin.....	44
2.7.1 Obvyklé měřené veličiny.....	44
2.7.2 Měření klimatických dat	46
2.7.3 Dostupnost budovy pro měření.....	50
2.7.4 Vliv uživatelů domu	50
2.7.5 Výpadky v datech a převzetí jiných údajů.....	51

3 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	52
3.1 Specifikace cílů.....	52
3.2 Prostředky pro dosažení cílů.....	52
3.3 Důvody volby cílů	54
4 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ SPOTŘEB ENERGIÍ	55
4.1 Lokalita vybraných budov	55
4.2 Zájmový objekt.....	56
4.2.1 Popis objektu.....	56
4.2.2 Cíle sledování.....	60
4.2.3 Experimentální měření	60
4.2.3.1 Meteorologická data	60
4.2.3.2 Sluneční ozáření	62
4.2.3.3 Měření vnitřního prostředí.....	67
4.2.3.4 Měření spotřeby elektřiny	69
4.3 Závěr k experimentálnímu měření a vyhodnocení.....	72
5 SIMULACE A JEJICH POROVNÁNÍ S EXPERIMENTÁLNÍM MĚŘENÍM.....	74
5.1 Porovnání simulačních nástrojů.....	74
5.2 Výpočet energetické náročnosti budovy pomocí nástroje PHPP 8.5	75
5.2.1 Materiál a metodika (Postup simulace).....	75
5.2.2 Užití přesnějších (naměřených) klimatických dat.....	78
5.2.3 Výsledky.....	80
5.2.4 Porovnání a rozbor	85
5.2.5 Dílčí závěr	87
5.3 Výpočet energetické náročnosti budovy pomocí softwaru ENERGIE 2015 LT	87
5.3.1 Materiál a metodika (Postup simulace).....	87
5.3.2 Užití přesnějších (naměřených) klimatických dat.....	90
5.3.3 Výsledky.....	93
5.3.4 Porovnání a rozbor	97
5.3.5 Dílčí závěr	99
5.4 Energetická simulace pomocí programu TRNSYS 16	99
5.4.1 Materiál a metodika (Postup simulace).....	99
5.4.2 Užití přesnějších klimatických dat.....	107
5.4.3 Výsledky.....	111
5.4.4 Porovnání a rozbor	118
5.4.5 Dílčí závěr	121
5.5 Závěr k simulacím a jejich porovnání s experimentálním měřením	122
6 VLIV ARCHITEKTONICKO-KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ A PROVOZNÍCH REŽIMŮ NA ENB	125
6.1 Vytápění	125
6.1.1 Materiál a metodika	125

6.1.2	Výsledky.....	127
6.1.3	Porovnání a rozbor	128
6.1.4	Dílčí závěr	131
6.2	Chlazení.....	131
6.2.1	Materiál a metodika	131
6.2.2	Výsledky.....	132
6.2.3	Porovnání a rozbor	133
6.2.4	Dílčí závěr	134
6.3	Větrání	135
6.3.1	Materiál a metodika	135
6.3.2	Výsledky.....	136
6.3.3	Porovnání a rozbor	137
6.3.4	Dílčí závěr	139
6.4	Zemní výměník tepla	140
6.4.1	Materiál a metodika	140
6.4.2	Výsledky.....	141
6.4.3	Porovnání a rozbor	142
6.4.4	Dílčí závěr	144
6.5	Stínění a clonění	145
6.5.1	Materiál a metodika	145
6.5.2	Výsledky I.....	146
6.5.3	Porovnání a rozbor I.....	147
6.5.4	Dílčí závěr I.....	149
6.5.5	Výsledky II.....	150
6.5.6	Porovnání a rozbor II.....	152
6.5.7	Dílčí závěr II.....	153
6.6	Optimalizace kombinací	154
6.6.1	Materiál a metodika	154
6.6.2	Výsledky.....	156
6.6.3	Porovnání a rozbor	157
6.6.4	Dílčí závěr	158
6.7	Závěr k analýze vlivu architektonicko-konstrukčního návrhu a provozních režimů na ENB	159
7	ZÁVĚR.....	162
7.1	Přínos práce pro praxi, vědní obor, a možnost navazujícího výzkumu.....	164
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	165
8.1	Seznam použité literatury	165
8.2	Seznam obrázků.....	174
8.3	Seznam tabulek.....	178
8.4	Seznam použitých symbolů a zkratk.....	180

9 PŘÍLOHY	182
9.1 Příloha č. 1: Komplexní tepelnětechnické posouzení stavebních konstrukcí obálky budovy „hranatého“ domu	182
9.2 Příloha č. 2: Charakteristika průsvitných ochlazovaných konstrukcí	187
9.3 Příloha č. 3: SKUTEČNOST – Náhled na výpočet extraterestrální insolace (aktuální hodnoty sluneční konstanty) a výšky slunce	189
9.4 Příloha č. 4: SKUTEČNOST - Měsíční záznam odečtů z měřičů elektřiny	190
9.5 Příloha č. 5: ENERGIE 2015 LT - Výpočet energetické náročnosti budovy	191
9.6 Příloha č. 6: ENERGIE 2015 LT - Průkaz energetické náročnosti budovy	200
9.7 Příloha č. 7: VYTÁPĚNÍ – Průběh energetické spotřeby vytápění pro jednotlivé teplotní zóny – <i>T1</i>	202
9.8 Příloha č. 8: CHLAZENÍ – Průběh teplot v místnostech bez užití chlazení – <i>CHI</i>	203
9.9 Příloha č. 9: CHLAZENÍ – Průběh teplot v místnostech s užitým chlazením na maximální teplotu 27 °C – <i>CH4</i>	204
9.10 Příloha č. 10: CHLAZENÍ – Průběh energetické spotřeby vytápění (20°C) a chlazení (max. 27 °C) pro jednotlivé teplotní zóny – <i>CH4</i>	205
9.11 Příloha č. 11: ZVT – Průběh teplot ovlivněných ZVT – <i>Z2</i>	206
9.12 Příloha č. 12: STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ I – Průběh teplot v místnostech bez stínění - <i>S8</i>	207
9.13 Příloha č. 13: STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ II – Průběh energetické spotřeby při stínění <i>S1</i> a chlazení <i>CH4</i> pro jednotlivé teplotní zóny	208
9.14 Příloha č. 14: STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ II – Průběh energetické spotřeby při stínění <i>S8</i> a chlazení <i>CH4</i> pro jednotlivé teplotní zóny	209
9.15 Příloha č. 15: OPTIMALIZACE – Průběh teplot v místnostech - <i>O2</i>	210
9.16 Příloha č. 16: OPTIMALIZACE – Průběh teplot ovlivněných ZVT – <i>O2</i>	211
9.17 Příloha č. 17: OPTIMALIZACE – Průběh energetické spotřeby – <i>O2</i>	212

I ÚVOD

Důsledky globální změny klimatu a neustálý nárůst cen energií, vyvolaly tlak na efektivnější využívání surovin, inovativních konceptů a šetrných technologií. Snahou vyspělých zemí je tedy snižovat celkovou spotřebu energie a nahrazovat tradiční neobnovitelné zdroje obnovitelnými.

Energie spotřebovaná technickými systémy budov, tedy energetické nároky topení, chlazení, větrání, přípravy teplé vody a osvětlení, činí okolo 40 % veškeré spotřebované energie [1]¹. Nejen díky tomu se zvyšuje zájem veřejnosti o energeticky efektivní budovy. Pro stavební oblast to s sebou přináší potřebu znát chování budovy z hlediska tepelné, akustické či světelné pohody. K tomu jsou užívány počítačové simulace energetického chování budov, kdy probíhají výpočty spotřeby energie a průběhy parametrů vnitřního prostředí budov za daných klimatických podmínek. Účelem těchto výpočtů je ještě před vlastní realizací budovy prověřit její projektované parametry a napomoci tak k optimalizaci a odstranění nedostatků již ve fázi přípravy projektu. V současnosti se k výpočtu parametrů vnitřního prostředí budov nejčastěji používá výpočet za předpokladu ustáleného teplotního stavu. Ty jsou často určeny normami [4] - [11] a pouze v několika případech [12]-[13] je normativně definován výpočet spojený s dynamickým užíváním budovy (obvykle s hodinovým krokem). Základní odlišností dynamických simulací oproti klasickým výpočtům v ustáleném stavu je dynamika výpočtu. Výpočet zde vždy závisí na výsledcích předchozího výpočtu, který vstupuje jako okrajová podmínka každého kalkulačního kroku. Dynamické simulace umožňují zejména lépe analyzovat vazby a průběhy parametrů v rámci budovy jako celku [16]. Důležitou vlastností simulačních nástrojů je jak jejich přesnost, tak i snadnost jejich reálného využití. Nezbytnou součástí je tak ověření hodnověrnosti, tj. správnosti a přesnosti výsledků získaných simulačním výpočtem [17]. Dle publikace [18] je k posuzování hodnověrnosti simulačních nástrojů doporučeno ověření pomocí analytických metod, porovnání s ostatními simulačními nástroji a ověření s použitím naměřených hodnot.

Několik studií [19] - [23] již ukázalo, že skutečná spotřeba energie po realizaci stavby se může výrazně lišit od té teoreticky vypočítané. Proto se stále setkáváme

¹ Oproti EPBD II [1] je v nejnovější změně evropské směrnice o energetické náročnosti budov (EPBD III) [2] zmíněna skutečnost, že, „... téměř 50 % konečné spotřeby energie v Unii je využíváno na vytápění a chlazení a z toho 80 % v budovách.“ „Pokud se tedy jedná o souměrná čísla, tak to doslova znamená, že došlo ke zhoršení, kdy v roce 2010 spotřebovaly budovy celkem 40 % a v roce 2018 činí 40 % jen vytápění a chlazení budov a nehovoří se o přípravě teplé vody, osvětlení, větrání a pomocných energiích“ [3].

s problémem, jak energetický matematický model co nejvíce přiblížit realitě. Nejlepší validací simulačního modelu je porovnání výstupních dat se skutečně naměřenými hodnotami experimentálním měřením a vstupující parametry v simulaci vyladit. Proto je důležitá zpětná vazba ve formě dlouhodobých monitorování již realizovaných budov. Získané poznatky z měření jsou cennými zdroji poučení a mohou sloužit ke zpřesnění dosud využívaných výpočtových modelů a nástrojů.

Přesnost výsledku simulace mimo jiné podstatně závisí i na stupni zjednodušení modelu a užití jednodušších, či sofistikovanějších, ale komplikovanějších softwarů. Stále však existují vstupní parametry, které nemůžeme v projektové fázi ovlivnit a vnášejí nám do výsledků simulace velké nepřesnosti. Těmito okrajovými podmínkami jsou např. klimatická data, chování osob, uživatelem nastavená vnitřní teplota, větrání okny, přirozená infiltrace, vnitřní tepelné zisky, užívání žaluzií, světel atd. Tyto skutečnosti nám budou vždy vnášet větší, či menší nepřesnosti mezi energetickými simulacemi a reálně změřenými hodnotami.

Zajímavé tedy může být vyčíslení rozdílu mezi experimentálně změřenými hodnotami a výsledky jednotlivých energetických simulací. Dále pak zjištění míry vlivu vybraných parametrů na energetickou náročnost budovy, což slouží k optimalizaci návrhu.

1.1 Struktura práce

Disertační práce se zabývá zejména experimentálním měřením spotřeb energií vybraných budov a teoretickým výzkumem v oblasti energetických výpočtů pomocí simulací energetické náročnosti.

Práce je členěna do několika samostatných celků:

- **První** kapitola obsahuje úvod vymezující téma disertační práce a přehled o struktuře samotné práce.
- **Druhá** kapitola je věnována obecné analýze současného stavu řešené problematiky energeticky úsporných staveb. Snaží se představit potřebnou teoretickou základnu pro pochopení problematiky od potenciálů úsporných staveb vč. jejich historického vývoje, vývoje energetického hodnocení a legislativy související s energetickou náročností budov. Dále kapitola nastiňuje hodnocení a metody výpočtu

energetické náročnosti budov, včetně popisu několika prostudovaných výpočetních nástrojů. Zabývá se také stavebně-energetickým měřením reálných budov.

- **Třetí kapitola** definuje vytyčené cíle včetně prostředků pro jejich dosažení.
- **Čtvrtá kapitola** specifikuje parametry vybraných budov a zaměřuje se na provádění experimentálních měření a vyhodnocení spotřeb energií a parametrů vnitřního prostředí.
- V **Páté kapitole** jsou vybrány výpočetní nástroje, v jejichž prostředí jsou provedeny kvazistacionární i dynamické simulace modelových budov. Výsledky simulací jsou následně porovnány s experimentálním měřením.
- **Šestá kapitola** je zaměřena na analýzu rodinného domu pomocí dynamické počítačové simulace. Cílem je prokázat vztah mezi architektonicko-konstrukčním řešením a energetickou náročností budovy. Byl pozorován vliv vybraných různých provozních režimů na spotřebu tepla na vytápění, chlazení, větrání a přehřívání interiéru. Vzájemná interakce několika vstupních parametrů variantních řešení dává podklad k optimalizaci celého návrhu.
- **Sedmá kapitola** obsahuje závěr, který stručně hodnotí dosažené výsledky a odkazuje na výzvy pro další výzkumné aktivity.

1.2 Vědecké metody

V rámci této disertační práce je použito několik vědeckých metod. V první fázi bylo provedeno roční experimentální měření energetické náročnosti vybraných budov, sběr naměřených dat a jejich vyhodnocení. Počítačové simulace provedené v další fázi tvoří vědecký experiment na základě abstraktního virtuálního idealizovaného modelu. Výsledky tohoto experimentu jsou verifikovány s reálně naměřenými daty. V části práce, kde se posuzuje vzájemná symbióza parametrů, je použita metody syntézy, která artikuluje vzájemné relace veličin.

2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

2.1 Energeticky úsporné stavby

V souladu s trendem udržitelného rozvoje, je logická orientace současného stavebního sektoru na stavby, které jsou primárně zaměřeny na šetření energie, a to jsou energeticky úsporné stavby.

Navrhování energeticky úsporných budov má tradici v přirozeně vhodných podmínkách, zejména v antickém Řecku a Římě, kde se o nich nacházejí zmínky v textech Sokrata [24]. Základy koncepce takových domů v moderním smyslu přineslo ovšem až meziválečné období 20. století, kdy již bylo možno využít technologického pokroku ve vývoji vytápěcích a klimatizačních systémů. Na přelomu 30. a 40. let minulého století vznikla na Massachusetts Institute of Technology v USA série experimentálních domů, jejichž materiály akumulovaly tepelnou energii ze Slunce prostřednictvím vody či vzduchu, a to i za cenu menšího důrazu na tepelně izolační schopnosti obálky domů. V dnešní terminologii šlo o kombinaci aktivních a pasivních přístupů s cílem snížení celkové energetické náročnosti staveb. V evropských podmínkách se tato tendence prosazovala nejrychleji a nejvýrazněji v Německu v souvislosti s ekonomicko-politickou situací, kdy Německo nemohlo ještě řadu let po první světové válce efektivně využívat své významné zdroje surovin (především uhlí) v okupovaném Porúří, a hledalo tak (jako první) netradiční cesty energetických úspor. Výrazným ovlivněním stavebních zvyklostí byly ropné krize v letech 1973 a 1979, kdy začaly v severských zemích Evropy (především ve Švédsku) vznikat nové budovy s mimořádně silným izolačním pláštěm, začala se vyžadovat jejich vzduchotěsnost, bylo instalováno řízené mechanické větrání. Následně došlo i na státem podporovanou rekonstrukci existujících budov, motivovanou snižováním závislosti státu na dovozu fosilních paliv. Obdobné snahy lze pozorovat v německy mluvících zemích v osmdesátých letech. Pro ně je charakteristické hledání cest, jak omezit zimní únik tepla okny a jak ohřívat domy převážně či výlučně slunečním zářením.

Přestože v sousedním Rakousku či Německu je v současnosti energeticky úsporná výstavba běžným standardem již řadu let, u stavebníků v České republice ještě stále málo populární. Situace se ale mění i v důsledku implementování evropské legislativy do té české a vypisovaným dotačním titulům, např. Nová zelená úsporám [25].

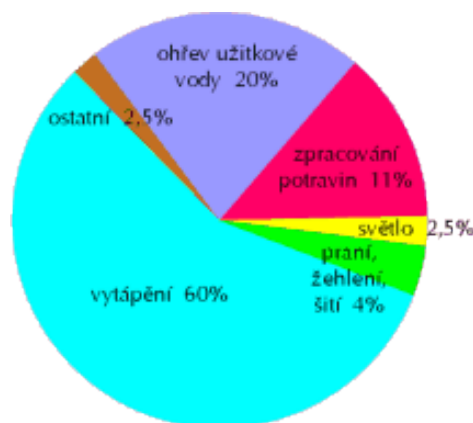
Základní koncepci úsporných staveb charakterizuje společné působení následujících prvků [42]:

- a) zastavovací podmínky (umístění budovy se zohledněním klimatických podmínek lokality, konfigurace terénu, orientace pozemku ke světovým stranám, vegetace, druh okolní zástavby atd.);
- b) koncepční podmínky (tvarové řešení budovy, její zónování, orientace hlavní fasády, atd.);
- c) zvýšená tepelná ochrana obvodového pláště (vynikající tepelně-izolační parametry podlah, stěn, střech, oken, dveří);
- d) předcházení vzniku tepelných mostů (důsledné provedení tepelně-izolačních opatření v konstrukčních napojeních);
- e) neprůvzdušnost obvodového pláště (vyloučení netěsností v konstrukcích, jejich vzduchotěsnost, větrotěsnost);
- f) pasivní využívání sluneční energie a tepelná akumulace (správně dimenzované solární prvky a systémy v součinnosti se zimní akumulací tepelných zisků a letní ochranou před přehříváním);
- g) aktivní využívání sluneční energie (hybridní konvektivní systémy s cirkulací teplého vzduchu, fototermická a fotovoltaická solární zařízení);
- h) vhodné pokrytí zbytkové potřeby tepla (účinné, efektivní a k přírodním zdrojům šetrné zabezpečení tepla s vysokou měrou využívání obnovitelných zdrojů energie, zpětné získávání odpadního tepla bez tepelných ztrát atd);
- i) optimálně zvolený systém vytápění (vhodný výkon a dobrá regulace, pružně reagující v závislosti na okamžité teplotě, podle možností nízkoteplotní, v ideálním případě výlučně teplovzdušný);
- j) energeticky efektivní příprava teplé vody (využívání aktivních solárních zařízení nebo účinných technických systémů, např. tepelných čerpadel);

- k) větrací zařízení se zpětným získáváním tepla (regulovaná a hygienicky dostatečná výměna vzduchu podle aktuálních potřeb, spojená s odváděním škodlivin z vnitřního prostředí);
- l) efektivní využívání elektrického proudu (energeticky úsporná zařízení, domácí spotřebič, osvětlení a přístroje na pohon technických systémů atd.);
- m) uvědomělé chování uživatelů (kvalifikovaná obsluha, přihlídnutí k fázím dne a k ročnímu období, správné ovládání technických zařízení, omezování tepelných ztrát v důsledku větrání okny atd.);
- n) pozitivní ekologická bilance domu (zohledňování bilance celkového životního cyklu, splňování kritérií zdravotní nezávadnosti s pozitivním vlivem na tvorbu zdravého vnitřního mikroklimatu atd.);
- o) optimalizace všech dílčích prvků (kombinace uvedených možností s ucelenou koncepcí – zohledňování specifických podmínek lokality a investičního záměru s výběrem optimálních strategií); [42]

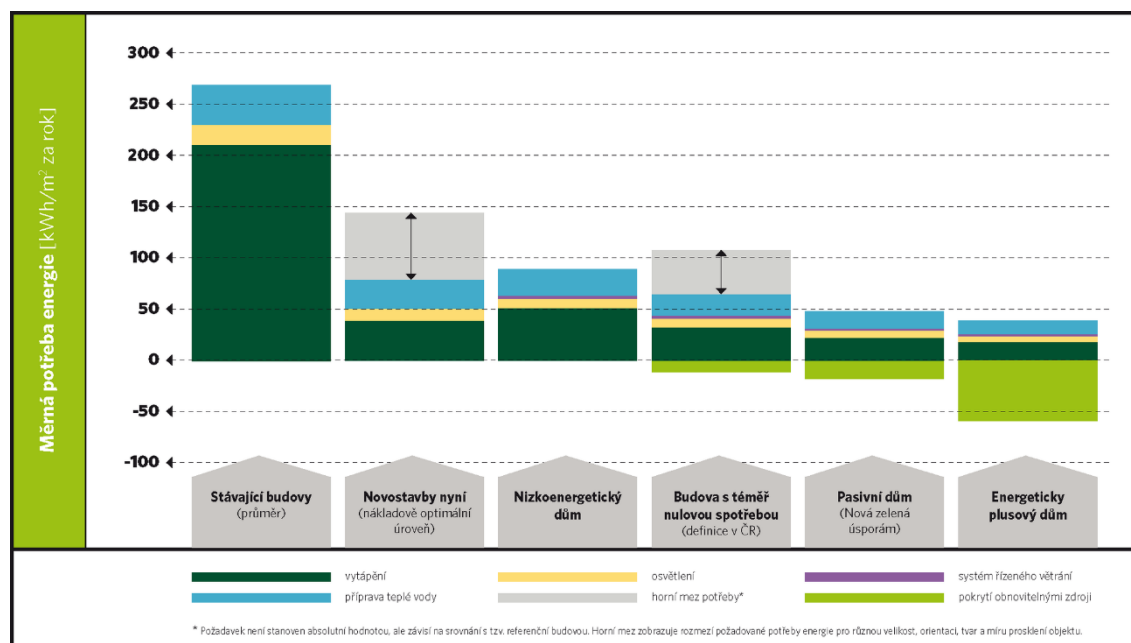
Spotřeba energie domu má dopad nejen na naši peněženku a životní prostředí, ale také na zdraví a peněženku našich dětí. Takže při volbě energetické koncepce domu je nutné se dívat daleko do budoucnosti, a ne na pouhé vstupní investice.

Protože na spotřebu energie u běžných budov má největší vliv vytápění, viz. *Obr. 2.1*, tak se pro posouzení celé stavby z hlediska energetické náročnosti využívá tzv. roční měrná potřeba tepla na vytápění E_A [$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$], která udává spotřebu tepla v kWh na vytápění 1m^2 budovy za 1 rok.



Obr. 2.1: Průměrné rozdělení spotřeby energie v domácnostech ČR [43]

Zatímco běžné domy ze 70. – 80. let většinou dosahují hodnot nad $200 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ za rok, u energeticky úsporných domů je tato hodnota podstatně nižší a výrazně tak snižuje náklady na vytápění.



Obr. 2.2: Porovnání celkové potřeby energie RD pro jednotlivé energetické standardy [44]

Přehled různých energetických standardů a jejich stručné charakteristiky zobrazuje Tab. 2.1.

Tab. 2.1: Rozdělení budov podle charakteristiky a roční potřeby tepla na vytápění [44]

domy běžné v 70. - 80. letech	Nizkoenergetický dům	současná novostavba (NZE) ²	pasivní dům	nulový dům, dům s přebytkem tepla
charakteristika				
zastaralá otopné soustava, zdroj tepla je velkým zdrojem emisí; větrá se pouhým otevřením oken, nezateplené, špatně izolující konstrukce, přetápí se	otopná soustava o nižším výkonu, dobře zateplené konstrukce, možnost řízeného větrání	otopná soustava o nižším výkonu, využití obnovitelných zdrojů, dobře zateplené konstrukce, možnost řízeného větrání	řízené větrání s rekuperací tepla, vynikající parametry tepelné izolace, velmi těsné konstrukce	parametry min. na úrovni pasivního domu, velká plocha fotovoltaických panelů
potřeba tepla na vytápění [$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$]				
většinou nad 200	méně než 50	cca 30 - 70	méně než 15	méně než 5

² Ze všech energetických standardů je v České republice „budova s téměř nulovou spotřebou energie“ (NZE – nearly zero energy building) jediným legislativně závazným pojmem, s postupným termínem náběhu platnosti pro novostavby od 1. 1. 2016 až po 1. 1. 2020.

Od 1. 1. 2009 je používán k vyjádření energetické náročnosti budovy jako celku (ne tedy pouze vytápění) tzv. *Průkaz energetické náročnosti budovy* (PENB), který zahrnuje i energetické systémy (vytápění, větrání, přípravu TV, osvětlení atd.). Hodnoty měrné potřeby tepla na vytápění jsou tedy sice pouze částí celku, ale nicméně jsou hlavním ukazatelem rozdělujícím domy do kategorií (nízkoenergetický, pasivní, nulový atd.).

2.1.1 Budova s téměř nulovou spotřebou energie (NZEB)

Budova s téměř nulovou spotřebou energie (NZEB – nearly zero energy building) je v České republice závazným pojmem, s postupným termínem náběhu platnosti pro novostavby od 1. 1. 2016 až po 1. 1. 2020. Standard NZEB primárně uvádí Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU (EPBD II), s odkazem na bližší požadavky, které jsou v kompetenci členských států. Zákon 4006/200 Sb. [38] uvádí, že se jedná o budovu s „*velmi nízkou energetickou náročností*“. Tato je oproti ostatním hodnoceným budovám definována ve vyhlášce 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov (se změnou 230/2015 Sb. [39] prakticky jediným kritériem, a tím je redukční činitel požadované základní hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla $f_R = 0,7$. Tím jsou prakticky stanoveny přísnější požadavky na tepelně izolační standard obálky budovy než pro dosud nové budovy, u kterých bylo požadováno $f_R = 0,8$. V případě NZEB se tedy jedná o úroveň blízkou doporučeným hodnotám součinitele prostupu tepla dle ČSN 730540-2:2011.

Mimo přísnější požadavky na tepelněizolační standard obálky budovy ještě zákon [38] říká, že spotřeba energie takové budovy bude „*ve značeném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů*“. Vyhláška [39] toto definuje požadavkem na snížení hodnoty neobnovitelné primární energie stanovené pro referenční budovu ($\Delta e_{p,R}$) v rozpětí 10 – 25 % podle druhu budovy nebo zóny.

Přestože je v názvu NZEB uvedena „téměř nulová spotřeba“, z čehož si každý dovodí hodnoty blízké nule, odpovídá spíše pouze nízkoenergetickému standardu s měrnou potřebou tepla na vytápění v rozsahu přibližně 30–70 kWh/m² za rok. U malých jednopodlažních objektů může tento požadavek činit i více než 80 kWh/m² za rok [44]. Konkrétnějšímu porovnání, včetně případové studie, se věnuje např. [49].

2.1.2 Nízkoenergetický dům (NED)

Nízkoenergetický dům je normově [6] zakotvená kategorie stavby, která má měrnou potřebu tepla na vytápění v rozmezí $15\text{--}50 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ za rok a současně její průměrný součinitel prostupu tepla nepřekračuje doporučenou hodnotu ($U_{\text{em,rec}}=0,75\cdot U_{\text{em,N}}$). Nízkoenergetický dům sice vyžaduje vyšší vstupní investici oproti domu pouze vyhovujícímu normovým požadavkům (hlavně díky potřebě kvalitnější obálky), za to ale nabízí úsporu nákladů na energie orientačně asi 50 - 65 %. Nízké potřeby je přitom dosaženo kvalitním návrhem, provedením stavebních postupů především bez zbytečných tepelných mostů, maximalizováním tepelných zisků a kompaktním tvarem budovy. Izolační schopnosti objektu jsou reprezentovány součiniteli prostupu tepla jednotlivých konstrukcí $U [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$ a průměrným součinitelem prostupu tepla $U_{\text{em}} [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$. Dimenzovány jsou podle doporučených hodnot normy ČSN 73 0540-2 - *Tepelná ochrana budov: Část 2 – Požadavky* [6]. Větrání může být i řízená, využívat případně rekuperaci tepla. Hodnota vzduchotěsnosti obálky domu při tlakovém rozdílu 50 Pa by neměla překročit hodnotu $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$ resp $n_{50} = 1 \text{ h}^{-1}$ u domů s rekuperací.

2.1.3 Pasivní dům (EPD)

Jedná se o stavby, které se snaží snížit závislost objektu na dodávkách energie. Splňují přísná kritéria energetických úspor při provozu domu. Název „pasivní“ vychází z principu využívání pasivních tepelných zisků v budově. Jsou to vnější zisky ze slunečního záření procházejícího okny a zisky vnitřní (teplo od osob a spotřebičů). Užití základních principů energeticky úsporné výstavby spolu s velmi kvalitní tepelnou izolací obvodového pláště budovy a utěsněním objektu lze výrazně snížit tepelné ztráty prostupem, čímž lze dosáhnout stavu, kdy lze úplně nahradit klasickou vytápěcí soustavu teplovzdušným vytápěním. Tyto budovy pak vystačí s pasivními zisky tepla a řízeným větráním s velice účinnou rekuperací, popřípadě dohřevem vzduchu v nejméně chladných měsících roku [47].

Pasivní domy musí splnit mezinárodně uznávanou hodnotu měrné potřeby tepla na vytápění $E_A \leq 15 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$. Tato hodnota vychází z toho, kolik tepla lze do interiéru dodat jen pomocí ohřátého vzduchu, tedy teplovzdušným vytápěním (přesněji z množství energie, které je nutné k ohřátí vzduchu teplovzdušného vytápění na 50°C). Vzduch nelze ohřívat na vyšší teplotu než zmiňovaných 50°C , protože by docházelo

k jeho znehodnocování způsobené karcinogenním spalováním mikročástic vzduchu, a tudíž vychází maximální topný výkon pro vytápění vzduchem $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Z této hodnoty je odvozena roční potřeba tepla $15 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, protože právě tato hodnota je optimální vzhledem k maximální zátěži [50]. V ČR je ale složité dosáhnout tak nízké hodnoty topné zátěže (pohybuje se především kolem 15 až $20 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$), a tak je u nás požadovaná roční potřeba tepla na vytápění RD stanovena na $E_A \leq 20 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ [6]. Není to však jediný požadavek. Velký nárok je kladen na neprůvzdušnost budovy, kde je požadována těsnost $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$. Stavební řešení a stínící prostředky musí zajistit nepotřebnost strojního chlazení. Po zohlednění faktoru energetické přeměny musí být hodnota primární energie z neobnovitelných zdrojů $NPE_A \leq 60 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (resp. $120 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$). Viz. Tab. 2.2, která je převzata z ČSN 73 0540-2:2011 [6].

Tab. 2.2: Základní vlastnosti pasivních budov [6]

		Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/(m ² K)]	Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/(m ² a)]	Měrná potřeba energie na chlazení [kWh/(m ² a)]	Měrná potřeba primární energie [kWh/(m ² a)]
Obytná budova	Rodinný dům	≤ 0,25 požadováno ≤ 0,20 doporučeno	≤ 20 požadováno ≤ 15 doporučeno	0 ²⁾	≤ 60
	Bytový dům	≤ 0,35 požadováno ≤ 0,30 doporučeno	≤ 15	0 ²⁾	≤ 60
Neobytná budova s převažující teplotou 18 °C–22 °C		≤ 0,35 ¹⁾	≤ 15	≤ 15	≤ 120
Ostatní budovy		Požadavky stanoveny individuálně s využitím aktuálních poznatků odborné literatury			≤ 120
POZNÁMKY					
¹⁾ Uvedená hodnota je doporučená, nejvýše však musí být rovna odpovídající hodnotě $U_{em,rec}$ podle 5.3.2 [2].					
²⁾ Stavební řešení musí být takové, aby strojní chlazení nebylo potřebné. Pokud by výjimečně bylo dodatečně použito, musí být odpovídajícím způsobem zahrnuto do hodnocení primární energie, a to i kdyby se jednalo o individuální jednotky považované za elektrické spotřebiče.					

Pro velmi kvalitní tepelnou obálku pasivní budovy platí obecně doporučené kritérium, aby všechny neprůhledné obvodové konstrukce byly zateplený na hodnotu součinitele prostupu tepla $U \leq 0,15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ (např. vnější stěna $0,18$ až $0,12$, plochá střecha $0,15$ až $0,10$) a průhledné konstrukce dosahovaly hodnot $U_{W,eff} < 0,8$ až $0,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Úspory energie (díky solárním ziskům) výrazně rostou až do 40 % prosklené

plochy v jižní fasádě, ovšem další zvětšování oken nevede k významným úsporám a vždy je zapotřebí vhodného stínění.

Dalším ze základních pilířů pasivního domu je dokonalé vyřešení a realizace vzduchotěsné obálky (Blower Door test - $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$), čímž se sníží průvzdušnost a tím i tepelné ztráty.

Nepostradatelnou technologií je nucené větrání, kdy je možné zpětně využít teplo, které se při větrání odvádí z domu. Slouží k tomu větrací jednotka se zpětným získáváním tepla, ve které odváděný vzduch předává přes teplosměnnou plochu své teplo vzduchu přiváděnému vzduchu. U pasivních domu je nutné použít rekuperační výměníky s účinností minimálně 75 %³, přičemž nejúčinnější jednotky (více než 90%) jsou protiproudé. Další možností je doplnění o zemní registr, což je, zjednodušeně řečeno, potrubí uložené v zemi, kterým se přivádí čerstvý vzduch do vzduchotechnické jednotky. Využívá relativně stabilní teploty zeminy někde v hloubce okolo 2 m. V zimě slouží zemní registr jako protimrazová ochrana jednotky a ohřívá venkovní studený vzduch. Oproti tomu, při vysokých letních teplotách funguje jako přirozená klimatizace. Větrací jednotky často používají pro letní režim by-pass, kdy odpadní vzduch prochází kolem výměníku a neohřívá nasávaný chladný vzduch. Efektivní je používání nočního chlazení, kdy se do objektu přivádí větší množství chladného vzduchu a takto předchlazený objekt si udržuje vhodnou teplotu po celý den.

I když jsou tepelné ztráty pasivního domu malé, na jejich pokrytí je třeba dodat potřebné teplo. Při venkovní teplotě $-15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a účinnosti rekuperace 80 %, má vzduch procházející rekuperační jednotkou teplotu asi $15 - 17 \text{ }^{\circ}\text{C}$. V pasivních domech se používají dvě koncepce vytápění: teplovzdušné vytápění, kde je nosičem tepla přímo vzduch, nebo vytápění klasickými zdroji tepla s jiným topným médiem (stropní, stěnové a podlahové vytápění nebo i přímotopné panely a radiátory) [46]. Při volbě koncepce vytápění ale musíme splnit požadavek maximální roční celkové potřeby primární energie $120 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$.

Teplovzdušný systém vytápění je používán nejčastěji, protože při sloučení řízeného větrání a teplovzdušného vytápění není potřeba budování klasické otopné soustavy, a tak toto řešení šetří pořizovací náklady. Realizace odděleného topného systému je nutností, pokud je požadováno, aby byla regulovatelná každá místnost

³ Účinnost rekuperace vyjadřuje, jaká část tepla je předána přiváděnému vzduchu z celkového množství tepla, které je obsaženo v odváděném vzduchu. Hodnoty se pohybují od 0% do 100%, přičemž nulová účinnost je větrání okny, kde je teplý vzduch bez užítu odváděn. Stoprocentní účinnost by byla tehdy, pokud by se přiváděný vzduch ohřál od odváděného na jeho původní teplotu.

zvlášť. U pasivních domů je výhodou, že zdroj tepla nemusí být umístěn u okna (protože povrchové teploty skla jsou vyšší a nedochází ke kondenzaci), a tak se často používají stropní infrazářiče, nebo přímotopné sálavé fólie, které se aplikují pod sádkartonovou konstrukci jako stropní či stěnový systém. Takové řešení poskytuje možnost kvalitní regulace teplot v jednotlivých místnostech.

Při velmi nízké spotřebě energie na vytápění a přípravu teple vody, roste podíl spotřebičů na celkové energetické náročnosti budovy. Díky moderním úsporným spotřebičům lze spotřebu elektřiny výrazně snížit. Nejdůležitější je výběr vhodných spotřebičů v energetické třídě A nebo A+, použití úsporných zářivek na osvětlení a napojení myčky nádobí a pračky na přívod teplé vody (v případě efektivního zdroje tepla to snižuje spotřebu elektřiny na ohřev vody ve spotřebiči).

2.1.4 Nulový dům

Přes všechny zásady a principy pasivního domu vede cesta k nulovému či aktivnímu domu. Výstižnost názvu nulový, nebo téměř nulový dům, je zavádějící. Nulová spotřeba je totiž jen teoretická, protože dům na svůj provoz určité množství energie přece jen potřebuje. V podstatné míře si ji však dokáže zabezpečit z obnovitelných zdrojů na místě stavby. Základem je tedy navrhnout a postavit dům tak, aby měl co nejnižší spotřebu energie, a tuto spotřebu pak kryl z obnovitelných zdrojů, co nejvíce je to možné. Nulovým domem se ve skutečnosti myslí objekt s měrnou potřebou tepla na vytápění nižší než $5 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$.

2.1.5 Aktivní dům

Rozdíl mezi nulovým a aktivním (případně plusovým) domem je jen v tom, že aktivní vyrobí víc energie, než spotřebuje. Aktivní (případně plusový) je dům, který na svůj provoz nepotřebuje dodávat zvenčí žádnou energii. Z obnovitelných zdrojů ji totiž dokáže sám vyrobit tolik, kolik spotřebuje, případně o něco víc. Tato bilance je však jen teoretická, protože v praxi se elektrická energie vyrobená většinou pomocí fotovoltaických panelů obvykle dodává do veřejné elektrické sítě. Ačkoli jde o matematické porovnání energie spotřebované (dodané do domu z veřejné sítě) a vyprodukované (dodané domem do sítě), být na nule (ačkoli i teoreticky) je dobrý výsledek, jelikož dům vyrábí energii bez emisí CO_2 , a tedy bez negativního vlivu na životní prostředí [50].

2.2 Vývoj energetického hodnocení

Snaha o popis předpokládaného energetického chování budov ve smyslu předvídání spotřeby energie budovou, se v regionech, kde bylo nutné budovy vytápět, datuje už od počátků stavitelství. Každého uživatele vždy zajímalo, kolik paliva si má připravit na zimu. S pokrokem technologií v budovách, se k potřebě energie na vytápění přidala energie na chlazení, přípravu teplé vody i osvětlení [26]. V současném pojetí tedy hodnotíme budovu z pohledu všech energetických toků na systémové hranici budovy. Nový přístup souvisí především s rozvojem technologií instalovaných v budovách a také s nutností vzájemného porovnání jednotlivých budov mezi sebou.

Základy snah o snižování energetických nároků budov a efektivní využívání energií lze hledat již před energetickou krizí, kdy se poprvé začaly objevovat na sklonku šedesátých let ve Skandinávii. Výrazněji pak za doby ropné krize v roce 1973 [27].

S těmito snahami je úzce spjato energetické hodnocení, jehož průkopníkem bylo **Švédsko**. V roce 1974 přišla Švédská vláda s myšlenkou finanční podpory směřující k opatřením na úsporu energie převážně v rezidenčním sektoru. Cílem bylo snížit spotřebu energie o 39 – 48 TWh během desetiletého období (1978 – 1988). Za těmito účely byl vyvinut tzv. Energetický barometr (EB), který monitoroval vývoj spotřeby energie v budovách [28], [27].

V květnu 1989 uvedla **Evropská komise** směrnici s názvem SAVE (Specific Actions for Vigorous Energy Efficiency), která se zabývala novou environmentální politikou. Komise v ní vytypovala 13 specifických opatření, ze kterých se 10 přímo dotýkalo stavebního sektoru. V prosinci 1997 Evropská unie přijala jednostranný závazek na zredukování emisí CO₂ o 5 % do roku 2010 (v porovnání s rokem 1990). Později, na setkání v Kjótu, Evropská unie zvýšila tento závazek na 8 %. V roce 2000 Evropská komise přijala Akční plán na zlepšení energetické hospodárnosti, který vyžadoval prokazatelné úspory ve výši 1 % za rok až do roku 2010, aby se tak dosáhl cíl „20 % do 2020“. O rok později, v květnu 2001, Komise navrhla přizpůsobit směrnici SAVE technickému pokroku. Tento návrh se 16. prosince 2002 stal směrnicí 2002/91/ES o energetické náročnosti budov (EPBD I) [29] [30]. Ta se zabývala komplexním hospodařením energií v budovách, naznačila cesty vedoucí k úsporám energie pro provoz budov stanovením požadavků na obecný rámec metody výpočtu celkové energetické náročnosti budovy (ENB) a uplatnění minimálních požadavků na ENB. V roce 2010 bylo vydáno přepracované znění této směrnice pod označením

2010/31/EU (EPBD II) [1], ve kterém byly úpravy původní směrnice, definovány nové administrativní nástroje ke snížení energetické náročnosti budov a mimo jiné se zavedl pojem "budova s téměř nulovou spotřebou energie". Mottem revidované směrnice byl cíl 20-20-20, vyjadřující cíl v roce 2020 dosáhnout snížení spotřeby energie o 20%, snížení emisí skleníkových plynů o 20% a zvýšení podílu obnovitelných zdrojů na 20% celkové výroby energie v Evropě (v porovnání s rokem 1990). V květnu 2018 vyšla v pořadí již 3. směrnice o energetické náročnosti pod označením 2018/844/EU (EPBD III) [2], jejíž ustanovení mají členské státy povinnost přenést do své národní legislativy do 10. března 2020. Změny ve směrnici reagují jak na zkušenosti s uplatňováním předchozí směrnice, tak na technický pokrok a možnosti budov vybavených tzv. smart technologiemi, elektromobilitu aj. Jedním z dlouhodobých cílů, k jehož dosažení by směrnice měla přispět, je snížení emisí skleníkových plynů, kdy bychom měli v roce 2030 produkovat o 40 % méně skleníkových plynů ve srovnání s rokem 1990. Dalším dlouhodobým cílem je do roku 2050 vytvořit v Evropě udržitelný, konkurenceschopný, bezpečný a dekarbonizovaný energetický systém [3].

Tab. 2.3: Cíle EU v oblasti energetiky [31], [32]

Cíle pro rok 2020	Cíle pro rok 2030	Cíle pro rok 2050
<ul style="list-style-type: none"> • Snížit emise skleníkových plynů oproti roku 1990 alespoň o 20 % • Získávat 20 % energie z obnovitelných zdrojů • Zvýšit energetickou účinnost o 20 % • Výstavba všech nových budov do konce roku 2020, jako budovy s téměř nulovou spotřebou energie 	<ul style="list-style-type: none"> • Snížit emise skleníkových plynů o 40 %. • Minimálně 32 % energie v EU z obnovitelných zdrojů • Zvýšit energetickou účinnost o 32,5 %. • Propojit elektrické rozvodné soustavy tak, aby bylo možné 15 % elektřiny vyrobené v EU dopravit do jiných zemí EU 	<ul style="list-style-type: none"> • Snížit emise skleníkových plynů oproti roku 1990 o 80-95 %. • udržitelný, konkurenceschopný, bezpečný a dekarbonizovaný energetický systém

V USA se energetické hodnocení používá od začátku osmdesátých let minulého století. Nicméně do podvědomí lidí se pojem energetických úspor dostal až na začátku let devadesátých, a to v souvislosti s možností využití výhodné hypotéky za účelem zvýšení energetické účinnosti. V roce 1992 schválil americký kongres program HERS (Home Energy Rating Systém), který odstartoval v pěti pilotních státech (Aljaška, Arkansas, Kalifornie, Vermont a Virginie) [28]. V současnosti již přijala většina amerických států zákony založené na mezinárodním kodexu úspory energie

(International Energy Conservation Code) a ASHREA (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning). Odhaduje se, že přijetí nejnovějších verzí těchto kodexů přineslo zvýšení účinnosti využívání energie o 12 – 16 % [31], [27].

V **Dánsku** byl systém energetického hodnocení pro komerční budovy zaveden v roce 1992 a o rok později byl rozšířen i o obytné budovy. Systém hodnocení byl povinný, poměrně nákladný a rozsáhlý [28], [27].

Ve **Velké Británii** bylo v osmdesátých a devadesátých letech provedeno stovky energetických auditů obytných budov. Na jejich základě vznikl tuzemský energetický model budov (tzv. BREDEM – Building Research Establishment Domestic Energy Model), využívaný k hodnocení budov, který je založený na třech systémech. První systém (tzv. SAP – Standard Assessment Procedure) byl určen pro budovy postavené po roce 1995 a k hodnocení užívá škálu 1 – 120. Další systém (NHER – National Home Energy Rating) hodnotil budovy v rozmezí 1 – 10 a třetí systém pak produkci oxidu uhličitého (Carbon Index) [28], [27].

Do **České republiky** přinesl myšlenku energetického štitkování budov tehdejší ředitel sdružení Energy Centre České Budějovice, pan Pawel Slawatycki, a to ze sousedního Rakouska. Výsledný dokument prokazující potřebu tepla pro dům zpracováváný podle rakouského vzoru dostal název energetický průkaz a byl počítán podle rakouských zvyklostí. Některé informace ovšem chyběly, a tak byly například mírně odlišně počítány vytápěné plochy a průkazy nebyly počítány na srovnatelné klimatické podmínky. Tento výsledek spolu s daty, ze kterých vycházel, byl uveden v energetickém průkazu vydávaném sdružením ECČB. Později název energetický průkaz převzala vyhláška č. 291/2001 Sb. [34]. U veřejnosti se o propagaci energeticky úsporného stavění postaral program „Zelená úsporám“, který funguje od roku 2009 (od roku 2013 do konce roku 2021 „Nová zelená úsporám“ [25]). Je to rozsáhlý program ministerstva životního prostředí, který poskytuje dotace pro energetické úspory. Je financován z prostředků získaných z prodeje emisních povolenek na vypouštění skleníkových plynů dle Kjótského protokolu. V roce 2009 byl na základě požadavku evropské směrnice 2002/91/EC (EPBD I) zaveden Energetický průkaz budovy, který hodnotí provozní energii na systémy vytápění, ohřev vody, větrání, chlazení a osvětlení. Druh spotřebovávané energie a tím vliv na životní prostředí se neposuzoval. V roce 2011 byla provedena revize normy tepelné ochrany budov ČSN 73 0540 -2 [6], kde se již vyskytuje pojem primární energie. Ta tedy rozlišuje, jakou formu energie budova spotřebovává (např. zemní plyn, uhlí, dřevo). Od roku 2013 platí podle nových předpisů (vyhl. 78/2013 Sb. O energetické náročnosti

budov [39]) Průkaz energetické náročnosti budov (PENB), který již hodnotí souhrnně jak konstrukce budovy z hlediska stavební fyziky, tak spotřeby jednotlivých systémů a rozlišují se jednotlivé formy spotřebovávané energie, které se přepočítávají na společnou hodnotu primární energie, u níž se rozlišuje složka obnovitelná a neobnovitelná. Z tohoto PENB také vyplývá, zda budova splní požadavky na cílový stav budov, tj. budovu s téměř nulovou spotřebou energie [35].

2.3 Legislativa související s energetickou náročností budov

Se vstupem České republiky do EU (1. 5. 2004) je naše legislativa provázána s touto evropskou. Dne 19. května 2010 byla přijata již zmiňovaná Směrnici Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov [1] (EPBD II), dle které činí podíl budov na celkové spotřebě energie v EU 40 % a tento sektor se dále rozrůstá. Podstatné snížení spotřeby energie a využívání energie z obnovitelných zdrojů v sektoru budov proto představuje základní opatření nutné ke snižování energetické závislosti Unie a emisí skleníkových plynů. EPBD II v této souvislosti podstatně doplňuje a mění původní Směrnici 2002/91/EC (EPBD I) [30] a stanoví základní principy a požadavky pro dosažení podstatného snížení energetické náročnosti budov. Směrnice požaduje, aby energetická náročnost všech nových budov a renovovaných prvků budov byla na nákladově optimální úrovni. Doplnění Nařízením Komise č. 244/2012 [36] ze dne 16. ledna 2012 poskytuje srovnávací metodický rámec pro výpočet této úrovně. Směrnice požaduje další postupné zpřísnování požadavků na energetickou náročnost budov až na úroveň budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Dále udává pro jednotlivé státy společné požadavky na obecný způsob hodnocení energetické náročnosti budov (ENB), kontrolu a stanovení provozní spotřeby energie v budovách. Určuje základní rámec opatření pro snížení spotřeby energie v budovách a uvádí doporučení vládám členských zemí pro naplnění uvedených cílů. Cílem této směrnice je podporovat snížení ENB s ohledem na vnější klimatické a místní podmínky země i požadavky na vnitřní prostředí a efektivnost nákladů provozu budov. Provedení požadavků se v jednotlivých zemích EU může lišit, neboť se prosazuje prostřednictvím legislativních předpisů na národních úrovních. Dne 30. 5. 2018 vyšla v pořadí již 3. směrnice o energetické náročnosti budov pod označením 2018/844/EU (EPBD III) Jejíž požadavky mají být do české legislativy promítnuty do 10. března 2020. Změny ve směrnici reagují jak na zkušenosti s uplatňováním předchozí směrnice, tak na technický pokrok a možnosti budov vybavených tzv. smart technologiemi, elektromobilitu aj. [3].

2.3.1 Zákon 406/2000 Sb., o hospodaření energií

Česká národní legislativa byla na základě směrnice 2010/31/EU (EPBD II) [1] na podzim roku 2012 revidována, a to změnou zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve smyslu změnového znění pod č. 318/2012 Sb. [37]. Další významnější novelou energetického zákona je zákon 103/2015 Sb.. Byl zaveden pojem „budova s téměř nulovou spotřebou energie“ a požaduje splnění požadavků na energetickou náročnost budov na tuto úroveň:

- a) od 1. ledna 2018 pro všechny nové budovy, kde je celková energeticky vztažná plocha větší než 1 500 m²;
- b) od 1. ledna 2019 pro budovy s celkovou energeticky vztažnou plochou větší než 350 m²
- c) od 1. ledna 2020 pro všechny nové budovy, tedy i rodinné domy.

Zákon č. 406/2000 Sb., ve znění pozdějších předpisů [38] určuje povinnost zpracovávání PENB a hodnocení ENB. Princip zpracování energetické náročnosti je odlišný, než tomu bylo podle dřívější právní úpravy, protože hodnocení energetické náročnosti je založeno na porovnání ukazatelů hodnocené budovy s ukazateli referenční budovy.

2.3.2 Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov

Prováděcí vyhláškou k zmiňovanému zákonu je Vyhláška č. 78/2013 Sb. [39], která vešla v platnost v březnu 2013 a stanovuje:

- a) metodu výpočtu energetické náročnosti budovy;
- b) nákladově optimální úroveň požadavků na energetickou náročnost budovy pro nové budovy, větší změny dokončených budov, jiné než větší změny dokončených budov a pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie;
- c) vzor posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie;
- d) vzor stanovení doporučených opatření pro snížení energetické náročnosti budovy;

- e) vzor a obsah průkazu a způsob jeho zpracování;
- f) umístění průkazu v budově. [40]

Podle této vyhlášky jsou energetické požadavky na budovy splněny v případě, pokud je energetická náročnost budovy nižší než energetická náročnost budovy referenční⁴. Což je zajištěno v případě, pokud je energetická náročnost budovy stanovena pomocí měrné spotřeby energie E_{PA} [$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$] a průměrného součinitele prostupu tepla U_{em} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$] maximálně rovna horní hranici klasifikační třídy „C“ podle tabulky Tab. 2.4.

Tab. 2.4: Energetické klasifikační třídy dle vyhlášky č. 78/2013 Sb.[39]

Klasifikační třída	Hodnota pro horní hranici klasifikační třídy		Slovní vyjádření klasifikační třídy
	Energie	U_{em}	
A	$0,5 \times E_R$	$0,65 \times E_R$	Mimořádně úsporná
B	$0,75 \times E_R$	$0,8 \times E_R$	Velmi úsporná
C	E_R		Úsporná
D	$1,5 \times E_R$		Méně úsporná
E	$2 \times E_R$		Nehospodárná
F	$2,5 \times E_R$		Velmi nehospodárná
G	Více než $2,5 \times E_R$		Mimořádně nehospodárná

Podle této vyhlášky bylo nutné navrhovat úsporná opatření pouze v případě větší změny dokončené budovy. Od 1. prosince 2015 vešla v platnost novelizace této vyhlášky, konkrétně vyhláška 230/2015 Sb. [41], ve které je několik menších změn a nově se musí úsporná opatření navrhovat i u nových budov.

2.3.3 ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov

V České republice se problematika tepelné ochrany budov v současné době opírá o sadu národních technických norem ČSN 730540 - Tepelná ochrana budov [5] - [8], ke které se výše zmíněné předpisy vztahují a činí její požadavky závaznými. Sada norem

⁴ Referenční budova je výpočtově definovaná budova téhož druhu, stejného geometrického tvaru a velikosti včetně prosklených ploch a částí, stejné orientace ke světovým stranám, stínění okolní zástavbou a přírodními překážkami, stejného vnitřního uspořádání a se stejným typickým užíváním a stejnými uvažovanými klimatickými údaji jako hodnocená budova, avšak s referenčními hodnotami vlastností budovy, jejích konstrukcí a technických systémů budovy [39], které jsou uvedeny v příloze této vyhlášky.

dále předpokládá návaznost na souboru evropských a mezinárodních norem výpočtových metod.

Soubor norem je rozčleněn na 4 části:

- a) Část 1 (2005) - Terminologie
- b) Část 2 (2011) – Požadavky
- c) Část 3 (2005) – Návrhové hodnoty veličin
- d) Část 4 (2005) – Výpočtové metody

Podle normy ČSN 73 0540 je zásadní navrhovat taková řešení budov, aby byla při zachování investičních nákladů co možná nejvíce snížena celková energetická náročnost budovy a zároveň byly minimalizovány dopady na životní prostředí. Přičemž dodržení tepelnětechnických požadavků zajišťuje zejména prevenci tepelnětechnických vad a poruch budov, pohodu uživatelů, požadovaný stav vnitřního prostředí pro užívání a technologické procesy a stavební předpoklady pro nízkou energetickou náročnost budov.

2.4 Energetická náročnost budov (ENB) a její hodnocení

Z energetického hlediska je každá budova charakterizována svými **energetickými nároky (potřebami energie)**, a také svou **energetickou náročností (spotřebami energie)**.

Energetické nároky závisí na tepelnětechnických vlastnostech konstrukcí objektu, okolním prostředí a požadovaném mikroklimatu uvnitř budovy. Nejčastěji mluvíme o nárocích na vytápění a chlazení.

Pojem **energetická náročnost** budovy nám popisuje skutečnou energii, kterou pro svou činnost potřebují technické systémy v budově (vytápění, chlazení, větrání, osvětlení atd.), tedy tu, co nakonec zaplatíme. Záleží tedy také na použití konkrétních energetických systémů, jež pokrývají energetické nároky.

Hodnocení energetické náročnosti budov a zpracování průkazu energetické náročnosti budov (PENB), je určeno pro případy, které definuje zákon 406/2000 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Energetická náročnost budovy kvantifikuje veškeré energie

spotřebované při standardizovaném provozu budovy⁵ – jedná se o energii na vytápění, přípravu teplé vody, chlazení, úpravu vzduchu větráním a klimatizací a energii na osvětlení. Princip hodnocení energetické náročnosti je ve smyslu ČSN EN 15 217 [51] (která byla nahrazena ČSN EN ISO 52 003-1:2018 [52]) a jí odkazovaných platných norem a předpisů, založen na paralelním porovnání hodnocené budovy s budovou referenční. Ta je z pohledu stanovení celkové dodané energie do budovy identická jako hodnocená budova (téhož druhu, stejného geometrického tvaru a velikosti včetně prosklených ploch a částí, stejné orientace ke světovým stranám, stínění okolní zástavbou a přírodními překážkami, stejného vnitřního uspořádání a se stejným typickým užíváním a stejnými uvažovanými klimatickými údaji jako hodnocená budova), liší se pouze v parametrech obálky budovy a hodnotách parametrů technických systémů. Ty jsou pevně stanoveny vyhláškou č. 78/2013 Sb., kde je uveden jejich pevný výčet. Referenční parametry technických systémů pro potřeby definice referenční budovy představují skupiny energetických systémů zahrnující systémy vytápění, chlazení, nuceného větrání, přípravu teplé vody, osvětlení. Solární systémy (fotovoltaické systémy, termické solární systémy) nejsou součástí referenční budovy. Z tohoto důvodu není k těmto systémům vytvořena reference.

Hodnocení budovy je pak prakticky prováděno pomocí dvou paralelně porovnávaných budov, výpočet probíhá ve dvou částech. První část výpočtu představuje zadání, výpočet a výstupy pro hodnocenou budovu. Druhá část představuje zadání, výpočet a výstupy pro referenční budovu s požadovanými hodnotami referenčních parametrů.



Obr. 2.3: Princip hodnocení ENB, porovnání ukazatelů energetické náročnosti [40]

⁵ Standardizovaným užíváním se rozumí provoz budovy v souladu s danými standardizovanými podmínkami vnitřního a venkovního prostředí a provozních požadavků stanovených v platných právních předpisech, technických normách a dalších technických předpisech. [38]

Hodnocení energetické náročnosti závisí na splnění některých ukazatelů energetické náročnosti, které podle vyhlášky č. 78/2013 Sb.[39] jsou:

- a) celková primární energie za rok;
- b) neobnovitelná primární energie za rok;
- c) celková dodaná energie za rok;
- d) dílčí dodané energie pro technické systémy vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, přípravu teplé vody a osvětlení za rok;
- e) průměrný součinitel prostupu tepla;
- f) součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici;
- g) účinnost technických systémů.

Požadavky na novou výstavbu se liší od požadavků na změny dokončených budov.

V případě hodnocení **nových budov** je povinné splnit současně tři ukazatele energetické náročnosti:

- a) ukazatele neobnovitelné primární energie za rok;
- b) ukazatel celkové dodané energie za rok;
- c) ukazatel průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy.

Pro **budovy rekonstruované**, resp. při větší změně dokončené budovy a při jiné než větší změně dokončené budovy, je možný výběr kombinace ukazatelů, které je nutné splnit:

- a) buď požadavek na neobnovitelnou primární energii za rok a současně průměrný součinitel prostupu tepla, nebo
- b) požadavek na celkovou dodanou energii za rok a současně průměrný součinitel prostupu tepla, nebo
- c) požadavek na součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici pro všechny měněné stavební prvky a současně účinnost technických systémů pro všechny měněné technické systémy.

2.4.1 Celková dodaná energie za rok

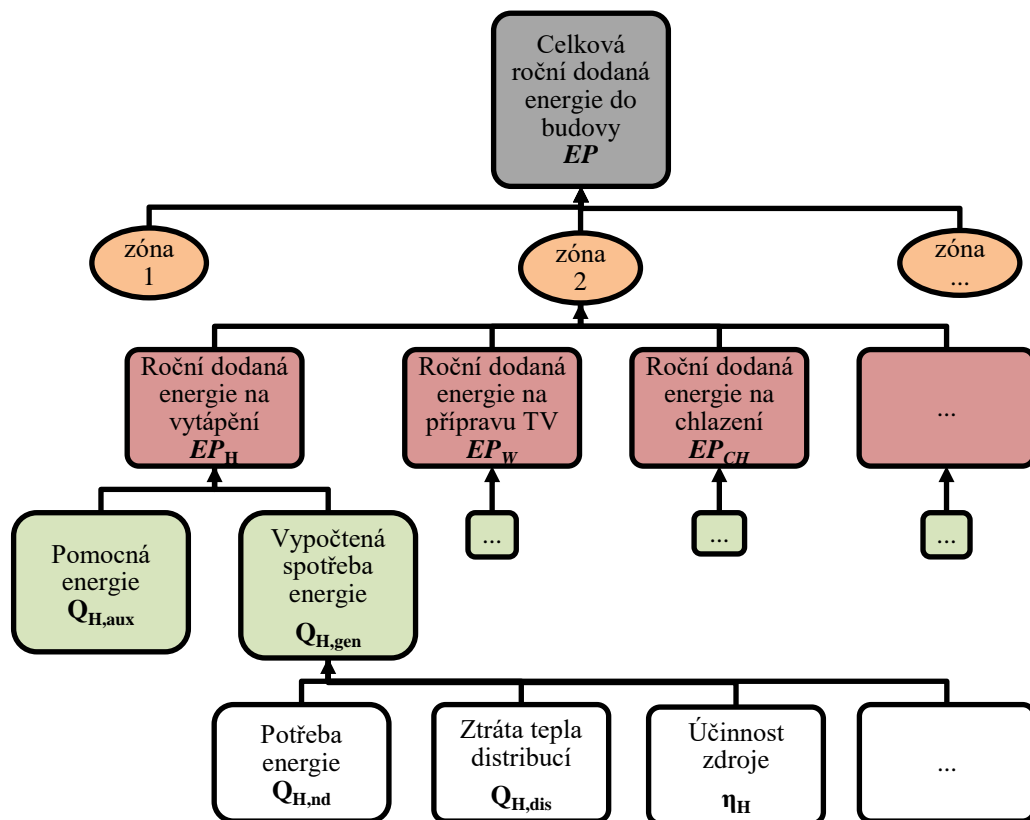
Energetická náročnost budovy tj. bilanční výpočet **celkové roční dodané energie** do budovy, je proveden v souladu s EN ISO 13790 [14] (od 10/2019 nahrazeno ČSN EN ISO 52016-1 [15]) a podle principů MPO ČR č. 78/2013 Sb.

Bilančním výpočtem se rozumí součet všech dílčích dodaných energií, což je součet pomocné energie a vypočtené spotřeby energie příslušných činností (vytápění, chlazení, přípravu TV, nucené větrání, úpravu vlhkosti vnitřního vzduchu a osvětlení).

Pomocná energie se obecně značí jako Q_{aux} a představuje energii, kterou spotřebují pomocné prvky technického systému, např. na čerpací práci oběhových čerpadel, apod.

Vypočtená spotřeba energie se značí jako Q_{gen} . Vypočte se z potřeby energie a zahrnuje vliv účinnosti zdrojů, distribuce a sdílení energie.

Potřeba energie se značí Q_{nd} a je to energie potřebná na daný účel (vytápění, chlazení, příprava teplé vody...) za předpokladu 100 % účinnosti všech technických systémů. Jde o teoretickou hodnotu bez vlivu energetických ztrát v technických systémech.



Obr. 2.4: Princip stanovení celkové dodané energie do budovy EP

2.5 Metody výpočtu energetické náročnosti budov

K určení energetické náročnosti budov se používají různé metody výpočtů, které se odlišují přesností a podrobností výpočtů, použitými okrajovými klimatickými podmínkami, podrobností profilů užívání. Výpočty mohou být prováděny ručně nebo pomocí výpočetních a simulačních softwarů. Volba druhu metody vždy záleží na konkrétním případě, účelu výpočtu, požadované přesnosti atd.

2.5.1 Zjednodušené metody energetické bilance

Výpočet se provádí ručně nebo pomocí jednoduchých softwarů, jejichž algoritmy zohledňují právní předpisy, vyhlášky, normy a standardy. Slouží převážně k vytvoření průkazu energetické náročnosti budovy, který je od roku 2013 nutnou součástí prodeje nebo kolaudace nemovitostí. K výpočtu se používají standardizované podmínky užívání a okrajové klimatické podmínky TRY (Test Reference Year = testovací referenční rok). Výsledky jsou vhodné ke srovnávání s referenční budovou, ale nemusí se plně shodovat s reálným provozem a reálnou energetickou náročností budovy.

Tyto výpočetní nástroje slouží jako pomůcka pro užívání odbornou veřejností, především však energetickými auditory a osobami oprávněnými zpracovávat průkaz ENB. Oproti simulačním softwarům jsou méně náročné na čas, jsou uživatelsky přívětivější.

Ruční výpočty:

- a) bilanční hodnocení (vyplývá ze zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů a vyhlášky č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov),
- b) podrobný výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení dle ČSN EN ISO 13 790 [14], kterou nahradila ČSN EN ISO 52016-1:2019 [15],
- c) výpočet potřeby tepla dle tzv. denostupňové metody (dle denostupňů v lokalitách v ČR).

Softwarová řešení:

- a) tabulkový kalkulátor **NKN** (Národní kalkulační nástroj) - katedra technických zařízení budov, Fakulta stavební, ČVUT v Praze
- b) program **Energie** – K-CAD, spol. s r.o.
- c) tabulkový kalkulátor **PHPP** (Passivhaus Projektierungspaket) - PassivhausInstitut Darmstadt
- d) výpočetní webová aplikace **DEKSOFT** – společnosti DEK a.s.
- e) a další

2.5.1.1 Bilanční hodnocení

Metodika bilančního výpočtu vychází ze zákona č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů (sbírka zákonů č. 318/2012 Sb. a vyhláška 78/2013 Sb.). Bilančním hodnocením se rozumí hodnocení založené na výpočtu energie dodané do budovy za podmínek standardizovaného užívání budovy.

Výpočet dodané energie se provádí intervalovou výpočtovou metodou. Celková roční dodaná energie se při bilančním hodnocení stanoví jako součet jednotlivých vypočtených dílčích hodnot dodané energie pro všechny časové intervaly v roce a pro všechny zóny budovy. Celkový výpočet je proveden pro daný časový úsek (měsíc, hodina) v ustáleném teplotním stavu. [53]

2.5.1.2 Výpočet spotřeby energií dle ČSN EN ISO 13 790⁶

Tato norma představovala související soubor výpočtových metod o rozdílných úrovních podrobnosti pro určení spotřeby energie na vytápění a chlazení budovy a pro určení vlivu zpětně využitelných tepelných ztrát technických systémů budovy.

Výpočty energetické bilance budovy se provádějí nejčastěji po měsíčních úsecích, výjimečně postačí i výpočet za celou otopnou sezónu. Pro podrobné studium energetických vlastností budovy, například pro porovnání výpočtů s naměřenými údaji,

⁶ Od 1.10.2019 bylo nahrazeno normou ČSN EN ISO 52016-1 (Energetická náročnost budov - Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony - Část 1: Výpočtové postupy) [15]

mohou být potřebné i výpočty pracující s kratšími časovými úseky – až po dynamické simulační modely využívající data po hodinách.

Rozlišují se dva základní **typy výpočtových metod**:

- a) **kvazistacionární metody**, které sestavují tepelnou bilanci pro dostatečně dlouhý časový interval (obvykle jede měsíc nebo celá sezóna), což umožňuje zahrnout dynamické vlivy empiricky stanoveným faktorem využitelnosti zisků a/nebo ztrát;
- b) **dynamické metody**, které sestavují tepelnou bilanci pro krátký časový krok (typicky jedna hodina) a které zahrnují teplo akumulované v hmotě budovy a uvolňované z ní [14].

Dále jsou zde popsány postupy pro využití podrobnějších simulačních metod. Výpočet dle této normy je velice podrobný a odkazuje na další spoustu souvisejících norem a předpisů, které zde nejsou uvedené.

2.5.1.3 Denostupňová metoda

Výpočet potřeby tepla na vytápění přes denostupně vychází z dlouhodobých sledování délky otopných období v ČR. U jednotlivých staveb po celé ČR je to velmi individuální. Ve velmi dobře izolovaných budov bývá topná sezóna kratší než u budov stávajících neizolovaných. Pro bytové domy zásobované z centrálního zdroje tepla předepisují předpisy začátek otopného období tehdy, klesne-li průměrná denní teplota venkovního vzduchu v příslušném místě nebo lokalitě pod +13 °C ve 2 dnech po sobě následujících a podle vývoje počasí nelze očekávat zvýšení této teploty nad +13 °C pro následující den (dle vyhlášky č. 194/2007 Sb.).

Závislost tepelné ztráty na teplotě je lineární, proto je možné vyhnout se integraci a použít zjednodušené vzorce s tzv. denostupni [D]. Výpočet denostupňů se provádí podle vzorce (1). Jedná se o součin počtu topných dnů a rozdílu průměrné vnitřní a průměrné venkovní teploty v otopném období.

$$D = d \cdot (\theta_{im} - \theta_{em}) \quad (1)$$

Průměrné hodnoty pro ČR:

$$D = 3\,678 \text{ denostupňů}$$

$d = 242$ dní (otopného období)

$\theta_{im} = 19$ °C (průměrná teplota v interiéru)

$\theta_{em} = 3,8$ °C (střední teplota v exteriéru v době otopného období)

S denostupni se poté pracuje v dalších vztazích, pomocí kterých se určuje potřeba energie. Vztah pro výpočet roční potřeby tepla na vytápění je:

$$Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon}{\mu_0 - \mu_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(\theta_{is} - \theta_e)} \cdot 10^{-3} \quad [MWh/rok] \quad (2)$$

$$Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon}{\mu_0 - \mu_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(\theta_{is} - \theta_e)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \quad [GJ/rok] \quad (3)$$

Kde:

Q_c ... je výpočtová tepelná ztráta [W]

ε ... je opravný součinitel

D ... je počet denostupňů

θ_i ... je teplota interiéru [°C]

θ_e ... je teplota exteriéru (dle klimatické oblasti) [°C]

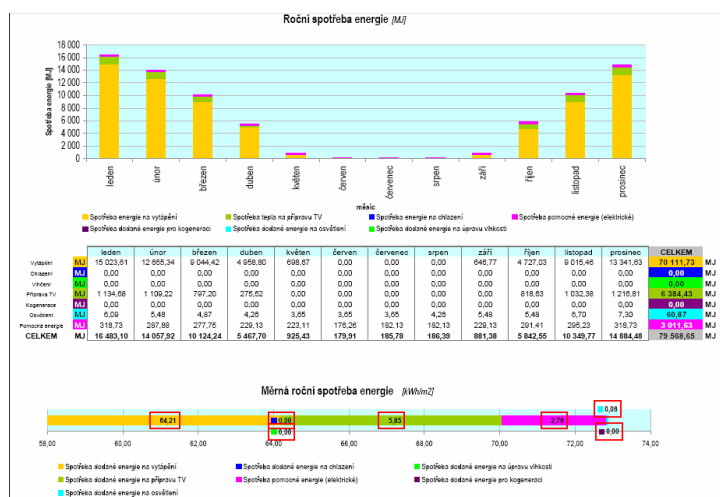
Při výpočtu potřeby tepla na vytápění je třeba správně stanovit lokalitu, ve které je stavba umístěna. Pro každou lokalitu je stanovena průměrná teplota exteriéru v otopném období a příslušný počet dní otopného období. Při použití této metody si musíme dobře uvědomit, že průměrné hodnoty veličin se počítají z dlouhodobých průměrů (zpravidla padesátiletý či třicetiletý). Tento fakt znamená, že skutečná potřeba tepla na vytápění se od té vypočtené může poměrně dost lišit. Pokud chceme dosáhnout přesných výsledků je třeba klimatické podmínky po celou dobu otopného období sledovat a počet denostupňů určit individuálně.

Nevýhodou této metody výpočtu je, že zcela opomíjí využitelnost tepelných zisků. Skutečná spotřeba tepla bývá zpravidla nižší. Solární zisky a vnitřní tepelné zisky potřebu tepla snižují. [54]

2.5.1.4 NKN (Národní kalkulační nástroj)

Nejnovější verze výpočetního nástroje NKN II je produktem katedry technických zařízení budov fakulty stavební ČVUT v Praze, který vznikl na základě

grantu České energetické agentury. Je primárně navrhnut pro posuzování energetické náročnosti budov v souladu s vyhláškou č. 78/2013 Sb. Užívá tedy bilanční hodnocení, které představuje porovnání vypočtené bilance celkové dodané energie potřebné pro provoz budovy po jednotlivých časových úsecích ročního provozu (měsíc, den, hodina) s referenčními hodnotami stanovenými vyhláškou o energetické náročnosti budovy. Jedná se o volně šiřitelný nástroj, mezi jehož hlavní uživatele patří odborná veřejnost zabývající se touto problematikou, zejména energetičtí auditoři a osoby oprávněné zpracovávat průkazy ENB.



Obr. 2.5: Uživatelské prostředí NKN [55]

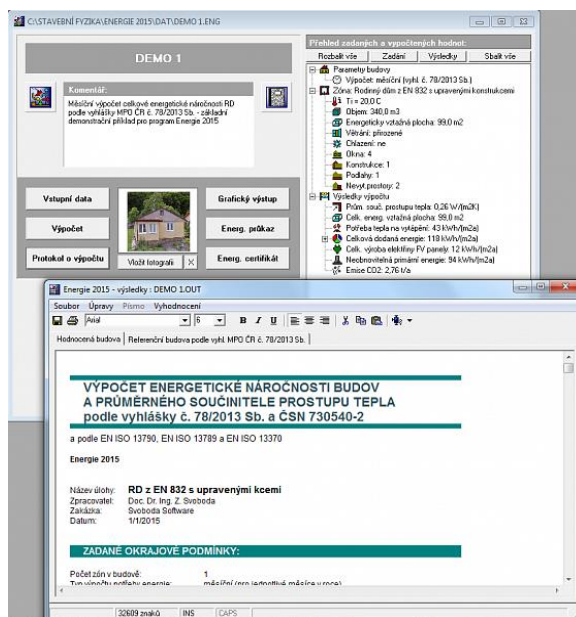
NKN II je vytvořen v prostředí MS Excel. Je řešen jako otevřený s možností zobrazení vazeb a vztahů zdrojového kódu. Vstupní okrajové podmínky vychází z ČSN 73 0331 – 1:2018 (typické hodnoty pro výpočet).

Uživatel s nástrojem pracuje prostřednictvím jednoho excelovského sešitu. Vkládá data do odemčených buněk v příslušných listech. Listy s výpočetním algoritmem a listy pomocné pro vlastní výpočet jsou uživateli skryty nebo zamčeny kvůli zamezení možnosti nechtěného, nežádoucího zásahu a následné šíření chyby. [55]

2.5.1.5 Energie (K-cad s.r.o.)

Program Energie je určen ke kompletnímu hodnocení energetické náročnosti budov. Tento program je zprostředkován společností K-CAD spol. s r.o.. Při výpočtu se zohledňují postupy a požadavky ČSN 730540 [5] - [8], TNI 730329 [56], TNI 730330 [57], EN ISO 13790 [14] (od roku 2019 ČSN EN ISO 52016-1 [15]), EN ISO 13370 [58], EN ISO 13789 [59] a dalších evropských norem. Program zpracovává energetický průkaz podle vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 Sb, resp 230/2015. v aktuálním znění

a energetický štítek podle ČSN 730540-2 (2011). Používá klimatická data z ČSN 730540-3:2005 a ČSN EN 12831:2005. Průměrné měsíční exteriérové teploty ve smyslu ČSN EN ISO 13788:2013[60] jsou v tomto softwaru převzaty z publikace „*Normály teploty vzduchu na území ČR v období 1961 – 1990 a vybrané teplotní charakteristiky období 1961 – 2000*“ [61]. Výpočet tedy pracuje s měsíčním krokem a pro tento krok jsou získány průměrné exteriérové teploty na základě 30 letého měření na 145 meteorologických stanicích v celé ČR.




Obr. 2.6: Uživatelské prostředí Energie 2016 [62]

2.5.1.6 PHPP (Passivhaus Projektierungspaket)

Německý Passivhaus Institut (PHI) Darmstadtu vyvinul na základě dynamických simulací, vlastní software: Passivhausprojektierungs Paket (PHPP), který se používá také pro posouzení ve fázi certifikace. PHPP jako nástroj pro navrhování a hodnocení se v praxi dobře osvědčil. Je potřeba podotknout, že pokud je dům navrhován a optimalizován pomocí PHPP, tak je zde velmi dobrá shoda mezi původním návrhem a výpočtem s naměřenými hodnotami v reálu. Právě s tímto principem byl PHPP vytvořen, aby bylo možné již v počáteční fázi plánování také výrazně uspořit investiční náklady na samotnou stavbu domu. Výpočtová metodika byla postupně od roku 1998 aktualizována až po nejnovější PHPP 9. PHPP je dostupné v různých jazykových verzích (v češtině je dostupné zatím jako poslední verze PHPP 8.5 (2013)). Jedná se o celoevropsky nejpoužívanější nástroj pro návrh pasivních domů. Pro české podmínky jsou do tohoto nástroje implementována klimatická data, vycházející z hodnot 40 letého průměru (1971 – 2010), která zpracoval v roce 2012 Český hydrometeorologický ústav.

Hodnocení pasivního domu



Objekt:	Tomkovi, RD v Rapotících		
Město a klima:	Rapotice, okr. Třebíč	CZ - Brno_vanov	
Ulice:	Padálky 200		
PSČ/Město:	675 73 Rapotice		
Stát:	Česká republika		
Druh objektu:	rodinný dům		
Stavěnlík:	Blanka a Milan Tomkovi		
Ulice:	Padálky 200		
PSČ/Město:	675 73 Rapotice		
Architekt:	Passive house s. r. o., Ing. Petr Marešák,		
Ulice:			
PSČ/Město:			
Technické vybavení budov:			
Ulice:			
PSČ/Město:			
Rok výstavby:	2010		
Počet bytových jednotek:	3	Vnitřní teplota:	20,0 °C
Obestavěný objem V _i :	635,4 m ³	Vnitřní zdroje tepla:	2,1 W/m ³
Počet osob:	2,0		

Prohlášení ve vztahu k výpělné podlahové ploše			
Výpělná podlahová plocha:	139,3 m ²		
Požadavek:	Měřicí metoda	Certifikát:	Splněno:
Měrná potřeba tepla pro vytápění:	15 kWh/(m ² ·a)	16 kWh/(m ² ·a)	ano
Výsledek zkoušky neprůzvučnosti:	0,6 h ⁻¹	0,5 h ⁻¹	ano
Měrná potřeba primární energie (TV, vytápění, ohřev, pom. a dom. spotřebiče):	104 kWh/(m ² ·a)	120 kWh/(m ² ·a)	ano
Měrná potřeba primární energie (TV, vytápění a pomocné a domácí spotřebiče):	78 kWh/(m ² ·a)		
Měrná potřeba primární energie (úspora elektrické energie):	kWh/(m ² ·a)		
Topná zátěž:	17 W/m ²		
Čísločet přikročení nejvyšší teploty vstřech:	1 %	nad 27 °C	
Měrná potřeba energie pro chlazení:	kWh/(m ² ·a)	15 kWh/(m ² ·a)	
Chladičí zátěž:	4 W/m ²		

Potvrzujeme, že zde uvedené hodnoty byly vypočteny podle PHPP na základě specifických parametrů stavby. Výpočty pomocí PHPP jsou připojeny k této žádosti.

Vydané dne: _____
 Podpis: _____

Obr. 2.7: Výstupní formulář PHPP 8.5

Rozhraní jednoduše strukturovaného návrhového nástroje je v prostředí tabulkového editoru (MS Excel, OpenOffice), který je rozdělen do několika záložek, jež jsou spolu provázány. Výpočet je velmi interaktivní a lze okamžitě vyhodnocovat výsledky. Na každém listu je zřejmé, které buňky se mají vyplnit a které jsou již vypočteny. Celý soubor je uzamčen, aby se omylem při zadávání a kopírování hodnot nezměnily vložené vzorce. Heslo pro uzamčení není použito, takže lze software modifikovat, přidávat záložky a upravovat. Tento postup korekce si ale může dovolit jen zkušený odborník, neboť nesprávné změny mohou vést ke špatným výsledkům.

2.5.2 Dynamické simulační řešení energetické bilance

Základní odlišností dynamických simulací oproti klasickým výpočtům v ustáleném stavu je dynamika výpočtu. Výpočet zde vždy závisí na výsledcích předchozího výpočtu, který vstupuje jako okrajová podmínka každého kalkulačního kroku. Dynamické simulace umožňují zejména lépe analyzovat vazby a průběhy parametrů v rámci budovy jako celku. Zde pak platí, že z více informací lze učinit efektivnější rozhodnutí pro budoucí úsporná opatření.

2.5.2.1 Simulace jako vědecká metoda

Simulovat (z latinského *simulace*) znamená předstírat, imitovat či napodobovat. U zrodu simulace, tak jako u celé řady jiných nástrojů a technik, stály vojenské potřeby. Poprvé byla využita simulace za 2. světové války, v rámci projektu s názvem „Manhattan Project“, a to k modelování procesu nukleární detonace⁷. Od té doby našla simulace uplatnění v celé řadě oborů.

Simulace je vědecká metoda a to proto, že představuje určitý způsob získání poznatků o světě. Podle typu simulace potom záleží, zda tyto poznatky získáváme o světě skutečném, nebo o světě idealizovaném (v podobě určitého modelu). Simulaci ve světě skutečném můžeme považovat za synonymum experimentu⁸. Simulace pracuje s určitým modelem, tedy idealizovanou podobou skutečného světa. Tento fakt samozřejmě nevylučuje možnost získání poznatků o světě reálném. Na určité úrovni zjednodušení můžeme říci, že simulace představuje experiment s modelem⁹.

Předpokladem realizace simulace je vytvoření určitého modelu. Realizace simulace potom představuje experiment s modelem. Modelování¹⁰ se od simulace téměř neliší. Simulace (patří do podmnožiny modelování) umožňuje rozšířit záběr zkoumání i na specifické typy modelů, ve kterých uvažujeme náhodné proměnné, tedy proměnné, jejichž hodnota je výsledkem realizace určitého specifického typu pravděpodobnostního rozdělení. Realizovat simulaci je samozřejmě možné i u deterministických modelů, obzvláště v případech, kdy by byl výpočet (získání) výsledku experimentu s daným modelem příliš složitý. [63]

2.5.2.2 Počítačová simulace

Počítačová simulace se od té fyzické liší především v povaze použitého modelu. Fyzická simulace (na rozdíl od té počítačové) využívá fyzické objekty, kterými je

⁷ Konkrétně se aplikovala metoda Monte Carlo, jejíž principy jsou popsány dále.

⁸ „Experiment můžeme charakterizovat jako cílevědomě navozený proces pozměňující spontánnost přírodních procesů přímým působením technickými nástroji na experimentální objekt nebo měněním podmínek, v nichž se objekt nachází a tím zjišťování změn, které takto nastanou.“ [63]

⁹ Slovo model je odvozeno z latinského *modulus* (míra, takt, rytmus, veličina) a ze slova *modus* (kopie, obraz). Modelem rozumíme systém, který reprodukuje vlastnosti studovaného objektu. Modelem tedy rozumíme zjednodušené zobrazení skutečnosti vytvářené za určitým účelem. Model nemůže zachytit všechny prvky, vlastnosti a vztahy objektu, jehož je modelem. Proto je model zjednodušením dané skutečnosti. Při tvorbě modelu musí být respektováno vždy to, aby byla určitá analogie mezi vlastnostmi a procesy probíhajícími v samotném objektu a vlastnostmi a procesy modelu. [63]

¹⁰ Modelování je specifickým pokračováním experimentu, kdy reálný objekt je nahrazen modelem. [63]

nahrazený reálný svět. Může se jednat o určité napodobeniny reálných objektů, či celých systémů.

V případě počítačové simulace se model v konečné podobě stává počítačovým programem, který by měl zachytit strukturu modelovaného systému, jeho dynamiku a jeho pravděpodobnostní charakter [63].

Simulace v budovách jsou důležité pro studium jejich energetické náročnosti. Přestože používání simulací při navrhování budov je problematické, protože řada simulačních nástrojů je složitá a spousta projektantů není seznámena s jejich vlastnostmi a omezeními, tak jejich výhody jsou nesporné. Abychom zjistili, jak se bude budova chovat z hlediska např. tepelné, světelné či akustické pohody, tak už jí nemusíme reálně postavit, stačí ji namodelovat v příslušném výpočtovém programu, zadat vstupní údaje, okrajové a klimatické podmínky, spustit simulaci (výpočet matematického modelu v počítači) a vyhodnotit výsledky výpočtu (simulace).

Simulací je možné detailně prověřit návrh již během projektové přípravy, optimalizovat investiční a provozní náklady, redukovat riziko nekvalitního, nebo až nevyhovujícího řešení.

2.5.2.3 Simulační softwary

Simulačními softwary jsou vytvářeny virtuální modely reálných a hypotetických budov, tak aby bylo možné studovat jejich energetickou náročnost a následně predikovat jejich chování při různých okrajových podmínkách.

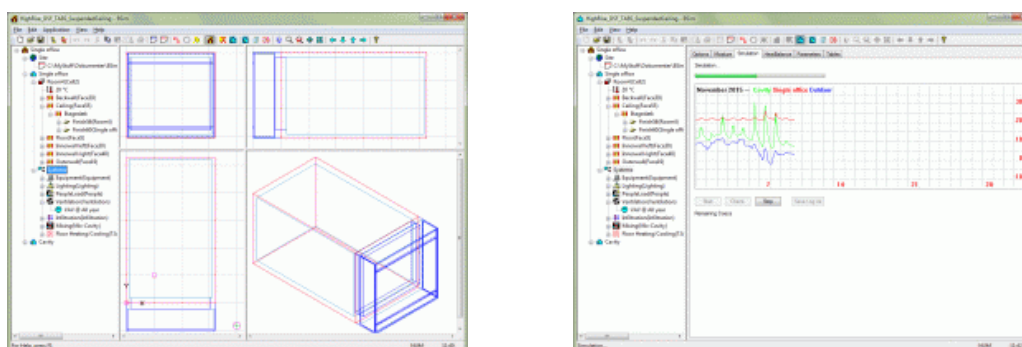
Dynamické simulace energetické náročnosti budov jsou prováděny na základě fyzikálních dějů. Okrajové podmínky pro výpočty mohou být vytvořeny z reálných naměřených datových souborů, např. klimatické datové soubory. Dynamický výpočet vždy závisí na výsledcích předchozího výpočtu, který vstupuje jako okrajová podmínka každého kalkulačního kroku. Tato programová řešení jsou náročnější na čas a předpokládají od uživatele hlubší znalost fyzikální podstaty problému. Uživatelské prostředí je často méně uživatelsky přívětivé, práce v těchto programech není zcela intuitivní. Základem je vytvoření modelu (geometrického, matematického, matematicko-fyzikálního, ...) a formulace jeho vlastností a chování [64].

K nejvyvinutějším nástrojům pro dynamické modelování energetického chování budov patří simulační programy **BSim**, **DesignBuilder**, **ESP-r**, **TRNSYS** a další, které v podstatě na obdobném principu výpočtu řeší komplexní modelování a simulaci energetického chování budovy a systémů technických zařízení budov. Tyto nástroje

jsou ve svém základním provedení postaveny pro modelování nejširšího spektra problémů – od tepelně-technického řešení stavebních prvků přes modely systémů technických zařízení budov po komplexní modely budov. Tato univerzálnost je vykoupena poměrně náročným způsobem formulace problémů a tvorby modelu, což předpokládá u uživatele jednak hlubokou znalost fyzikální podstaty problému, jednak schopnost abstraktního myšlení při tvorbě modelu a vede k užívání především na specializovaných pracovištích při univerzitách a konzultačních firmách [65]. V malé míře se užívají k velkým speciálním projektům, kde nelze uplatnit klasických zjednodušených postupů výpočtu. Ovšem do běžné projekční praxe se simulační programy dostávají velmi pomalu, protože stejně jako tvorba modelu, tak i samotná doba výpočtu simulace bývá značně časově náročná.

2.5.2.4 BSim

BSim je komerční program, který vyvíjí Danish Building Research Institute. Jedná se o integrovaný počítačový nástroj umožňující simulaci denního osvětlení a proslunění včetně stínů, zónovou simulaci vnitřního prostředí – tepelná a vlhkostní bilance a simulaci energetické náročnosti technického zařízení objektu. Výhodou programu je intuitivní grafické uživatelské rozhraní. Čas simulace průměrného modelu zabere pouze několik minut. [66]

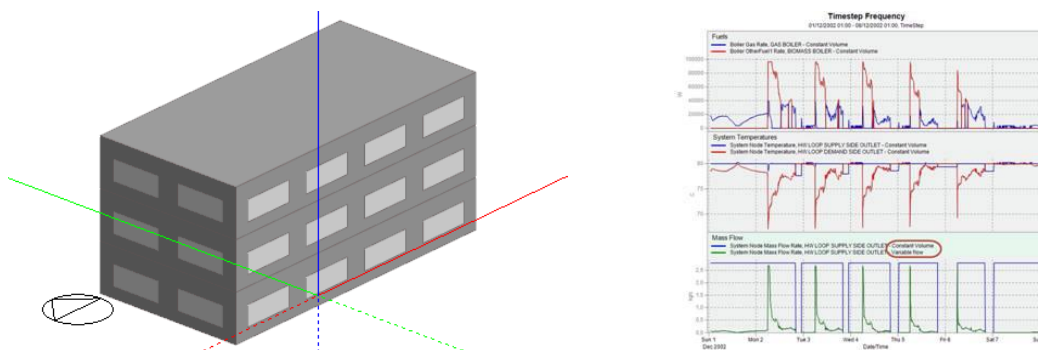


Obr. 2.8: Screenshots BSim 2002[66]

2.5.2.5 DesignBuilder

DesignBuilder je program sloužící k simulaci energetické náročnosti budovy a parametrů vnitřního prostředí. Jedná se o produkt britské společnosti DesignBuilder Software Ltd, který je ve Velké Británii hojně využíván jako simulační nástroj pro tvorbu energetických průkazů budov. Program je velmi uživatelsky přívětivý a vyžaduje

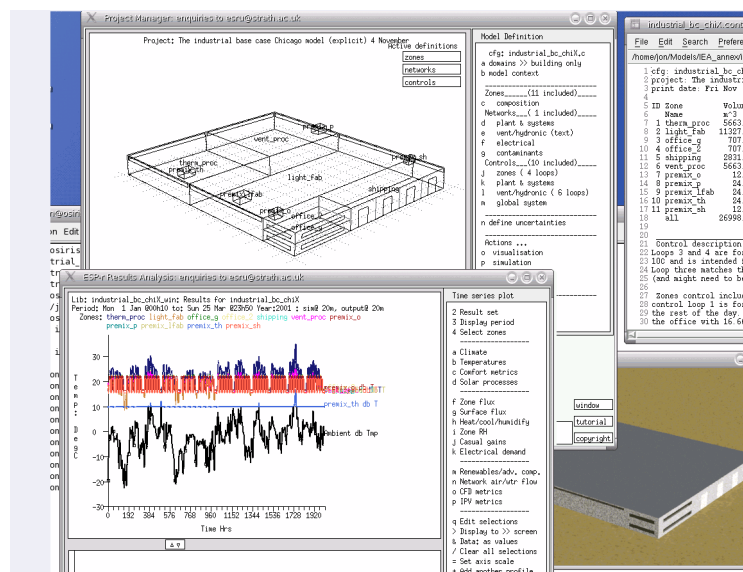
základní znalosti problematiky, umožňuje však simulovat pouze běžně používané systémy. [66], [67]



Obr. 2.9: Screenshots DesignBuilder [66]

2.5.2.6 ESP-r

ESP-r představuje dynamické simulační prostředí pro analýzu energetických a vlhkostních toků v budovách a v zařízeních pro větrání, vytápění a klimatizaci. Software provádí výpočet metodou zónové energetické simulace. Byl vyvinut na University of Strathclyde, Glasgow a je dostupný zdarma jako open-source program, který je primárně určen pro operační systém Linux. Pomocí emulátoru je možné program spustit i pod operačním systémem Windows. ESP-r je komplexní a flexibilní simulační program, který umožňuje simulovat i nejnovější technologie – kombinovaná výroba tepla a elektřiny, fotovoltaické fasády, atd. [66], [68]

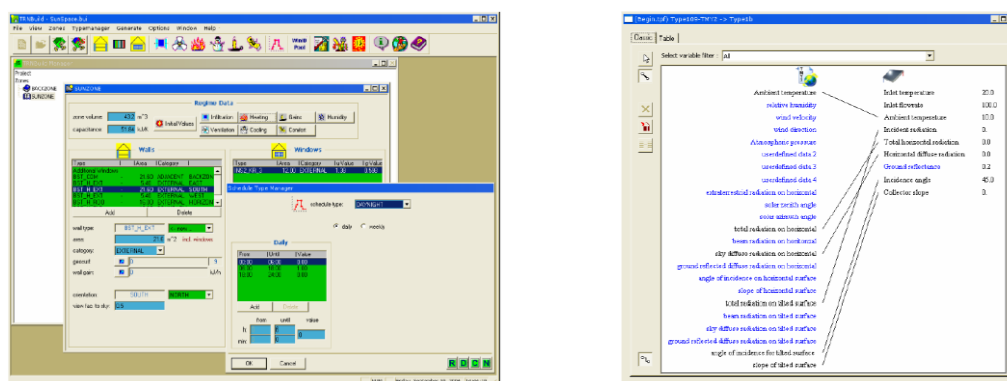


Obr. 2.10: Screenshot ESP-r [68]

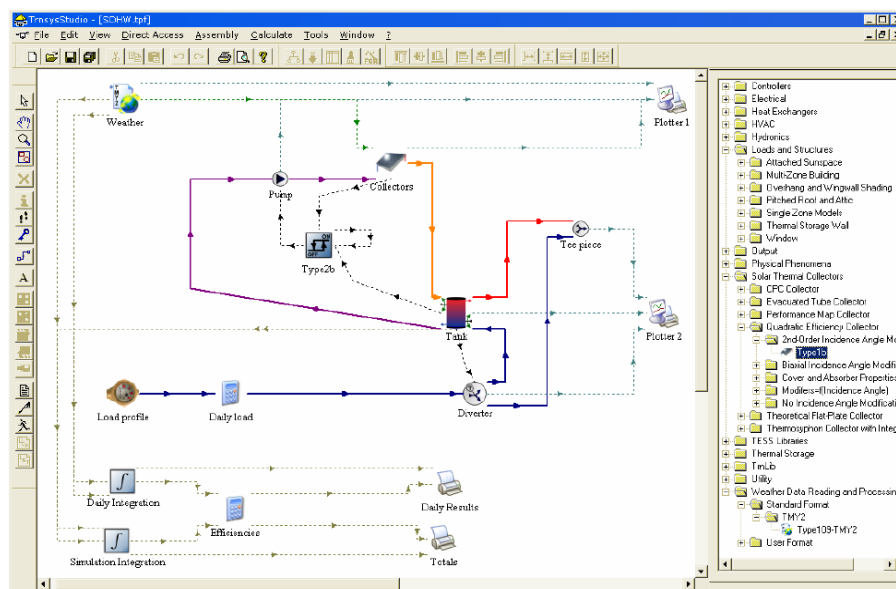
2.5.2.7 TRNSYS

Simulační program TRNSYS (TRaNsient SYstems Simulation) je komerčně dostupný od roku 1975. Původně byl vyvíjen pro simulování solárních procesů. V dnešní době je jeho vývoj zařizován trojicí univerzit v rámci mezinárodní spolupráce Spojených států, Francie a Německa.

Jedná se o flexibilní graficky založený nástroj. Funguje na principu spojování vstupů a výstupů jednotlivých komponent, které představují části energetického systému. Snahou vývojářů poslední verze je nabídnout uživatelsky příjemné prostředí. Jednou z největších výhod tohoto nástroje je, že umožňuje jednoduché upravování a přidávání nových vlastních komponent použitím všech běžně známých programovacích jazyků. Tento nástroj je nejčastěji používán pro simulaci dynamických systémů, jako jsou solární a HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) systémy pro nízkoenergetické a pasivní stavby. TRNSYS je také využíván k ověření nových myšlenek a návrhů inženýry a výzkumnými pracovníky po celém světě. [69]



Obr. 2.11: Screenshot TRNSYS [69]



Obr. 2.12: Screenshot TRNSYS [69]

2.6 Energetická optimalizace

K energeticky úspornému projektování neodmyslitelně patří variantní řešení s energetickou optimalizací. Je to proces, který nadále zefektivňuje zvolené parametry řešené stavby. Návrh pasivního (nebo úspornějšího) domu je složitý proces, který v sobě zahrnuje mnoho disciplín (projektová činnost, stavební fyzika, technické zařízení budov atd.). Pokud má být návrh efektivní, tak se musí řešit komplexně. Dá se použít známý obecný vzorec na efektivnost energetické optimalizace [70]:

$$efektivita = \frac{výkon}{cena} \Rightarrow \frac{úspora + trvanlivost}{pracnost + cena}$$

Ze vzorce je patrné, že nemá smysl za každou cenu, která neúměrně navyšuje pracnost, zlepšovat například kvalitu konstrukce, ale je nutno řešit úlohu skutečně komplexně a zapojit do úvah i jiné vstupní podmínky [70]. Je zřejmé, že každý objekt má rozdílné podmínky a vyžaduje jiné řešení, případně určitá přizpůsobení. Jednotlivé faktory se v různých situacích mohou projevovat v odlišné míře. Optimalizačním postupem může být vnímáno porovnání několika variant na základě změny vzájemně provázaných vstupních parametrů. Vhodným optimalizovaným návrhem je potom varianta s nejmenší spotřebou energie.

2.7 Měření fyzikálních veličin

Navrhování i realizace energeticky úsporných budov je stále ještě zatíženo řadou nejistot, mýtů, deziluzí a příliš optimistického očekávání. Z tohoto důvodu je snahou získat objektivní informace o skutečném chování takovýchto budov. K tomu je zapotřebí najít vhodný způsob měření stavebně-energetických vlastností.

2.7.1 Obvyklé měřené veličiny

Podle povahy úlohy se mohou značně lišit rozsah a časové úseky měření, počty a druhy čidel, způsoby komunikace měřicí ústředny atd. Nejčastěji sledované veličiny a čidla jsou uvedeny v Tab. 2.5.

Tab. 2.5: Přehled nejčastějších dlouhodobých měření a vybavení [71]

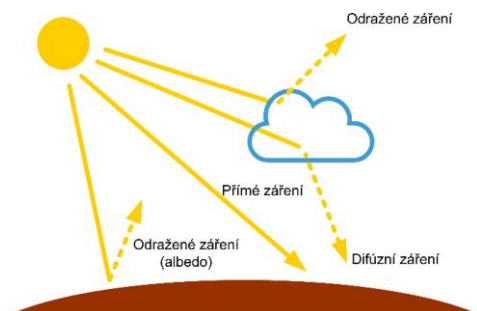
Sledované jevy	Veličiny	Druh čidel/měřicího zařízení
Klimatické podmínky	Teplota venkovního vzduchu	Teplotní čidla
	Solární radiace	Čidlo solárního záření
	Další meteorologické veličiny (rychlost a směr větru, srážky)	Meteorologická stanice
Některé parametry pohody prostředí	Teplota vzduchu v interiéru budovy	Teplotní čidla
	Relativní vlhkost vzduchu v interiéru	Čidla relativní vlhkosti (případně kombinovaná s teplotním čidlem)
	Koncentrace CO ₂	Čidlo CO ₂
	Rychlost proudění vzduchu v interiéru	Čidlo rychlosti proudění (malé rychlosti)
Kvalita obálky budovy	Teplota na vnitřním povrchu	Teplotní čidla povrchová (lepená plošně nebo pomocí lepicích pásek)
	Tepelný tok z/do konstrukce	Čidla tepelného toku (lepená plošně nebo pomocí lepicích pásek)
Hodnocení otopné soustavy	Teploty – měření teplot zásobníku tepla, měření teplot na jednotlivých větvích VZT potrubí	Čidla pro měření teplot – na povrchu, v jímkách, umístované do VZT jednotky a potrubí
	Průtoky tepla	Průtokoměry v kombinaci s dvojicí teplotních čidel
	Měření dodávky elektřiny do otopné soustavy	Podružný elektroměr
Hodnocení solární termické soustavy	Průtoky tepla	Průtokoměry v kombinaci s dvojicí teplotních čidel
	Teploty na kolektorech	Teplotní čidlo
Hodnocení fotovoltaického systému	Měření množství elektřiny v uzlovém místě (např. dodávky do veřejné sítě)	Elektroměr, zpravidla ve vlastnictví správce distribuční soustavy
	Teploty na zadní straně FV panelů	Teplotní čidla
Spotřeba elektřiny	Celková spotřeba	Elektroměr, zpravidla ve vlastnictví distribuční společnosti – doplněný o on-line odečet
	Dílčí spotřeba, např. – „zásuvková energie“	Měřič elektrické spotřeby připojený krátkodobě (periodicky) do zásuvkových okruhů
Jiné a doplňkové	Podle povahy úlohy	Např. čidla přítomnosti osob, stavu otevření dveří a oken, provozních stavů technických prvků apod., teplotní čidla v podzákladí a zemině v blízkosti trubních vedení zemních výměníků tepla pod.

V současnosti je na trhu k dispozici bohatá nabídka jednoúčelových nebo univerzálních měřicích zařízení, které komunikují s výpočetní technikou, stejně jako soubory všech potřebných čidel se standardizovanými datovými výstupy. Z tohoto důvodu se problém při přípravě měření soustřeďuje spíše na potřebný počet měřených míst a veličin s ohledem na účely měření, finanční limit, přístupnost míst a míru spolupráce s uživateli. Současně se musí eliminovat rušivé vlivy, jako je např. nechtěné přímé oslunění čidel atd.

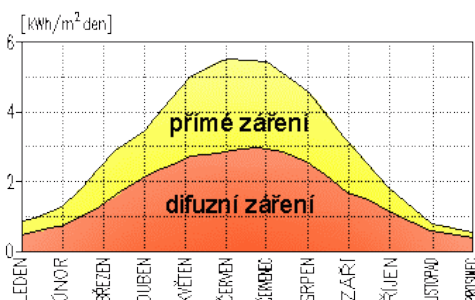
2.7.2 Měření klimatických dat

K dosažení dostatečně věrných numerických simulací chování budov (a jejich částí) je nutná znalost vlastností vnějšího prostředí. Nejvýznamnějšími veličinami jsou především teplota vzduchu, relativní a absolutní vlhkost vzduchu, tlak vodní páry, teplota rosného bodu, intenzity slunečního ozáření (globální a difúzní), rychlost a směr větru. Pro měření většiny těchto klimatických dat slouží meteorologické stanice.

Pro měření intenzity slunečního ozáření se nejčastěji užívá pyranometr. Celkové (globální) ozáření, které dopadá na zemský povrch, se skládá ze dvou složek – přímého¹¹ a difúzního¹² ozáření.



Obr. 2.13: Schematické znázornění prostupu záření zemskou atmosférou [76]



Obr. 2.14: Rozložení globálního ozáření [75]

Obecně je pyranometrem možné měřit jak celkové (globální) ozáření, tak pouze difúzní za použití stínítka, které zabrání dopadu přímého slunečního záření na povrch přístroje.



Obr. 2.15: Pyranometr se stínítkem (foto autora)

¹¹ Přímé sluneční záření, není při průchodu atmosférou odraženo, ani pohlceno a dopadá přímo na Zemský povrch (lze ho měřit pouze za jasné oblohy).

¹² Difúzní sluneční záření proniká k povrchu země po rozptýlení záření v atmosféře odrazem o pevné i kapalné částice (molekuly plynů ve vzduchu, částčky prachu a mraky). Na osluněnou plochu také dopadá část přímého záření, která se odrazí od okolních ploch. Také toto odražené záření se počítá k záření difúznímu. V letním období tvoří difúzní záření přibližně polovinu záření globálního. V zimě je díky častému oblačnému počasí tento podíl podstatně vyšší. V celoročním průměru obnáší podíl difúzního záření asi 60 % [75].

Protože se denní dráha Slunce po obloze neustále mění, je nutno co několik dní stínící štít ručně přestavovat. To není často (z důvodu časové nedostupnosti) možné. Proto je často měřeno jen celkové (globální) ozáření na horizontální plochu, které musí být pro pozdější použití v simulacích výpočtově (pomocí matematického separačního modelu) rozděleno na difúzní a zbývající přímou složku.

Počátkem 60. let 20. století se v literatuře objevila řada modelů pro výpočet difúzní složky založené na průkopnické práci Liu a Jordan (1960) [77], jako například Orgill a Hollands (1977), Erbs a kol. (1982), Reindl a kol. (1990), Lam a Li (1996) a Perez a kol. (1990). Byly stanoveny korelace mezi parametry k_d a k_t , na kterých je založena většina modelů [77]:

$$k_d = \frac{I_d}{I} \quad [-] \quad (4)$$

$$k_t = \frac{I}{I_{ext}} \quad [-] \quad (5)$$

Kde:

k_d ... je podíl difúzního záření (diffuse fraction) [-]

k_t ... je index jasnosti (clearness index) [-]

I ... je globální sluneční ozáření [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

I_d ... je difúzní slunečné ozáření [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

I_{ext} ... je extraterestrální insolace, [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

Extraterestrální insolace je insolace (oslunění) na horní hranici atmosféry. Je to aktuální hodnota sluneční konstanty s měnící se vzdáleností Země od Slunce, která se v průběhu roku, díky mírně eliptické dráze Země kolem Slunce, mění (max. cca $\pm 3\%$ od základní hodnoty sluneční konstanty - $1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$). Její velikost záleží pouze na astronomických parametrech Země (tvar, vzdálenost od Slunce), nikoliv na vlastnostech atmosféry daného místa [78].

$$I_{ext} = I_{sc} \cdot \left(\frac{R_{av}}{R} \right)^2 \quad [-] \quad (6)$$

$$\left(\frac{R_{av}}{R}\right)^2 = 1,00011 + 0,034221 \cdot \cos(b) + 0,00128 \cdot \sin(b) \quad [-] \quad (7)$$

$$+ 0,000719 \cdot \cos(2b) + 0,000077 \cdot \sin(2b)$$

$$b = 2\pi \cdot \frac{n-1}{365} \text{ radians} \quad [-] \quad (8)$$

Kde:

I_{sc} ... je solární konstanta při průměrné vzdálenosti slunce a země [$1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$]

R_{av} ... je průměrná vzdálenost mezi Sluncem a Zemí

R ... je skutečná vzdálenost mezi sluncem a zemí v závislosti na dni v roce

n ... je den v roce (1-365)

Jednou z nevýhod těchto mnoha separačních modelů je, že jejich přesnost klesá, jakmile se uplatní v jiných oblastech než v těch, které poskytly počáteční data pro vývoj modelu. V této souvislosti vznikla v roce 2012 studie [79], jež je založená na databázi měřeného ozáření ve Vídni, a která porovnává a statisticky vyhodnocuje osm modelů pro odhad difúzní složky slunečního záření.

Tab. 2.6: Porovnávané modely a jejich vstupní parametry [79]

Separační model		Rok publikace	Vstupní parametry modelů
Orgill and Hollands	OH	1977	I, I_{ext}, α
Erbs	ER	1982	I, I_{ext}, α
Vignola a McDaniels	VM	1984	I, I_{ext}, α
Skartveit a Olseth	SO	1987	I, I_{ext}, α
Maxwell	MA	1987	I, I_{ext}, α, p
Reindl	RE	1990	$I, I_{ext}, \alpha, T_a, \phi$
Louche	LO	1991	I, I_{ext}, α
Lam a Li	LL	1996	I, I_{ext}, α
I ... je globální sluneční ozáření [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] I_{ext} ... je extraterestrální insolace, [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] α ... je výška slunce nad obzorem [°] T_a ... je venkovní teplota [°C] ϕ ... je relativní vlhkost vzduchu [-] p ... je tlak vzduchu, [Pa]			

Srovnání s naměřenými údaji (ve Vídni) ukázalo, že tři modely (RE, ER a OH) vykazují lepší výsledky, než ostatní separační modely. Přibližně 62 % výsledků získaných na základě těchto tří modelů vykazuje relativní chybu menší než ± 20 % oproti reálnému měření. Toto zjištění obecně souhlasí s předchozími studiemi Wong a Chow (2001), Elminir (2005), Cucumo a kol. (2007), Jacovides a kol. (2006) [79].

Přestože rozdíly mezi těmito třemi algoritmy nejsou příliš výrazné, byl pro potřeby této práce vybrán model Reindl, který oproti ostatním modelům vykazuje menší relativní chybu, čím je větší výška slunce nad obzorem. Další jeho výhodou je použití většího počtu vstupních parametrů výpočtu, které by měly více zohlednit lokalitu měření.

Model REINDL

Jedná se o separační model, který odhaduje difuzní složku slunečního ozáření na základě naměřených globálních a difúzních údajů z 5 lokalit v USA a Evropě. Algoritmus uvažuje se třemi charakteristickými intervaly, které mají omezující hranice [80]:

a) Interval: $0 \leq k_t \leq 0,3$	Omezení: $I_d/I \leq 1,0$	(9)
$I_d/I = 1,000 - 0,232 \cdot k_t + 0,0239 \cdot \sin(\alpha) - 0,000682 \cdot T_a + 0,0195 \cdot \phi$		

b) Interval: $0,3 < k_t < 0,78$	Omezení: $0,1 \leq I_d/I \leq 0,97$	(10)
$I_d/I = 1,329 - 1,716 \cdot k_t + 0,267 \cdot \sin(\alpha) - 0,00357 \cdot T_a + 0,106 \cdot \phi$		

Interval: $0,78 \leq k_t$	Omezení: $I_d/I \geq 0,1$	(11)
$I_d/I = 0,426 \cdot k_t - 0,256 \cdot \sin(\alpha) + 0,00349 \cdot T_a + 0,0734 \cdot \phi$		

Kde α je výška slunce na obzorem, což je úhel, spojnice středu Země a středu Slunce s rovinou obzoru (vodorovnou rovinou). Čísluje od obzoru k zenitu od 0° do 90°

$$\sin \alpha = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos t \quad [-] \quad (12)$$

Kde:

δ ... je deklinace slunce [$^\circ$]

φ ... je zeměpisná šířka

t ... je časový úhel s počátkem ve 12:00

(časový krok 1h = 15° , tzn. 11:00 = -15° , 13:00 = 15°)

Deklinace slunce je úhel, který svírá spojnice středu Země a středu Slunce s rovinou rovníku. Nabývá hodnot od 0° do $+90^\circ$ směrem od rovníku k severnímu světovému pólu, od 0° do -90° směrem od rovníku k jižnímu světovému pólu:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin(\tau - 109) \quad [^\circ] \quad (13)$$

Kde:

τ ... je datový úhel $[^\circ]$

$$\tau = 0,98 \cdot D + 29,7 \cdot M \quad [^\circ] \quad (14)$$

Kde:

D ... je pořadové číslo dne v měsíci [1...31]

M ... je pořadové číslo měsíce v roce [1...12]

2.7.3 Dostupnost budovy pro měření

Větším problémem, než vlastní technické zajištění měření, může být získání k tomuto účelu vhodných budov a přesvědčení jejich uživatelů. Ti musí být ochotni umožňovat dlouhodobý (nejlépe delší než jeden rok) přístup do domu a akceptovat, že data nepřímě vypovídající o jejich způsobu života jsou někde shromažďována a publikována. Dále je potřebná loajalita uživatele k možným stavebním zásahům v již hotovém domě, jako např. osazení čidel na hotové povrchy, provrtání konstrukcí pro osazení chrániček a vedení, instalace kalorimetrů na potrubní rozvody, pohyb techniků v zabydleném interiéru apod. Z těchto důvodů bývá většinou možné provádět měření pouze v domech se zájemci o problematiku, nebo domech, které jsou od počátku součástí nějakého výzkumného nebo dotovaného projektu.

2.7.4 Vliv uživatelů domu

Vliv uživatele je významný nejen při hledání vhodné budovy pro měření, ale projevuje se i v mnoha dalších oblastech. Ovlivňování měření je způsobeno například neuzavíráním oken a dveří oproti předpokladům nebo dohodnutému režimu,

nezapisováním dohodnutých doprovodných informací, individuální odlišností ve zvycích (nastavení teplot v interiéru, četnost větrání, doba přítomnosti osob, užívání domácích spotřebičů přispívajících k vnitřním tepelným ziskům i zvýšené spotřebě elektřiny, kouření doprovázející zvýšeným větráním apod.). Patří sem i odlišnosti v přístupu k obsluze technických systémů, jako je dodržování předepsaných intervalů pro výměnu filtrů ve vzduchotechnice a další [71].

2.7.5 Výpadky v datech a převzetí jiných údajů

V průběhu měření může dojít také k výpadkům (ztrátě dat, poruchy ukládání dat, výpadky v dodávce elektřiny, poruchy a odcizení čidel, nevěrohodná data s ohledem na změny ve způsobu provozu a užívání budovy apod.). V takovém případě je omezeně možné některá data (např. data klimatická) nahradit údaji jinými (údaje Českého hydrometeorologického ústavu, vlastní údaje z jiné lokality atd.), konkrétní místní data bývají ovšem bohužel nenávratně ztracena [71].

3 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Disertační práce řeší problematikou energetické náročnosti budov, zejména experimentální měření reálných spotřeb energií vybraného energeticky pasivního rodinného domu a teoretický výzkum v oblasti energetických výpočtů, pomocí počítačových simulací.

3.1 Specifikace cílů

- **Cíl 1)** Experimentální měření a vyhodnocení spotřeb energií a parametrů vnitřního prostředí vybrané budovy.
- **Cíl 2)** Provedení kvazistacionárních i dynamických simulací této budovy a jejich porovnání s experimentálním měřením.
- **Cíl 3)** Analýza architektonicko-konstrukčního návrhu a provozních režimů, prokázání jejich vlivu na energetickou náročnost budovy a jejich optimalizace.

3.2 Prostředky pro dosažení cílů

K úspěšnému naplnění hlavních cílů disertační práce bylo třeba vyřešit dílčí úkoly, a to:

- a) provedení širší analýzy problematiky energetické náročnosti budov pomocí numerických metod;
- b) zajištění potřebné měřicí techniky;
- c) nalezení vhodných budov pro experimentální měření a zajištění dlouhodobé spolupráce s jejich majiteli;
- d) provedení dlouhodobého měření a sběru dat, včetně vyhodnocení;
- e) rešerši dostupných softwarů použitelných pro potřeby disertační práce;
- f) zvolení vhodných simulačních softwarů a zvládnutí práce v nich;

- g) provedení energetických simulací ve vybraných výpočetních nástrojích;
- h) ověření simulačního modelu;
- i) porovnání vypočtených hodnot s experimentálním měřením;
- j) provedení simulací několika různých variant, se vzájemně působícími měněnými vstupními parametry, a sledování vlivu na energetickou náročnost budovy;
- k) optimalizace návrhu výběrem nejvhodnější nasimulované varianty;
- l) a další...

Hlavní část výzkumu byla směřována k experimentálnímu měření spotřeb energií vybrané reálné budovy, jejich simulacím energetické náročnosti a optimalizaci.

Obě k výzkumu dostupné budovy se nacházejí v obci Rapotice (okres Třebíč, kraj Vysočina), která je vzdálená cca 25 km vzdušnou čarou západně od Brna. Jedná se o jedno a dvou podlažní rodinné domy s energetickou náročností okolo hranice energeticky pasivního standardu. Bližší specifikace objektů je popsána v následující části (viz. kapitoly 4.2 a 4.3).

Díky získaným grantům specifického vysokoškolského výzkumu (*FAST-J-12-1757: „Modelování a hodnocení energeticky pasivního domu“* a *FAST-J-13-2035: „Hodnocení energetické náročnosti a vnitřního mikroklimatu energeticky pasivního domu“*) byl financován nákup měřicí techniky, která byla osazena jak uvnitř, tak vně zájmových objektů.

Během celoročního měření byla na objektu umístěna meteorologická stanice WH1080, která monitorovala parametry vnějších klimatických podmínek (konkrétně teplotu, relativní vlhkost a tlak vzduchu, směr a rychlost větru, teplotu rosného bodu, množství srážek a další). Dále pak pyranometr FLA 628 S sledoval globální ozáření na horizontální plochu.

V interiéru bylo umístěno několik dataloggerů OMEGA OM-EL-USB-2 pro měření vnitřní teploty a relativní vlhkosti vzduchu a záznamník měření koncentrace CO₂ WÖHLER CDL 210. Dále pak měřiče elektřiny SOLIGHT DT23 a FHT-9992, zachycující spotřebu jednotlivých spotřebičů. Pomocí podružných měřidel, umístěných v rozvodné elektrické skříni, byla také zaznamenávána spotřeba topných infrapanelů

a osvětlení. Pro měření množství předávané energie v teplovodním okruhu mezi integrovaným zásobníkem tepla a rekuperační jednotkou byly zakoupeny kalorimetry EMBRA SONTEX SUPERCAL 539.

Pro energetické hodnocení modelových objektů byly užity rozdílné výpočetní metody a softwary. Po širší analýze, byl z jednodušších a dostupnějších nástrojů s měsíčním krokem výpočtu, zvolen český software Energie 2015 LT [62], využívající metodiku EN ISO 13790:2009 [14] (od 10/2019 nahrazeno ČSN EN ISO 52016-1 [15]) a v Evropě nejrozšířenější PHPP 8.5 (*Passive House Planning Package*) [73] s vlastní metodikou výpočtu. Pro dynamické simulace s hodinovým krokem byl použit komplikovanější a sofistikovanější simulační software TRNSYS 16 (*Transient System Simulation Tool*) [69], využívající data Referenčního klimatického roku (TRY-*Typical reference year*) dle normy ČSN EN ISO 15927-4:2011 [72] pro konkrétní lokalitu (Rapotice), a dále pak data z databáze Meteonorm (TMY2-*Typical Meteorological Year, Version 2*).

K optimalizaci návrhu pasivního domu je zapotřebí posouzení několika technicky a ekonomicky přijatelných vstupujících parametrů a vyhodnocení jejich vzájemné interakce. Z toho důvodu byl v rámci dynamické simulace sledován vliv několika různých výpočetních variant na energetickou náročnost budovy.

3.3 Důvody volby cílů

S dnešním trendem zvyšujících se požadavků na energetické úspory či účinnosti energetických systémů je použití programů pro numerické simulace již nedílnou součástí navrhování budov. Důležitá je ale ovšem i zpětná vazba, jestli v praxi vedou navržená opatření skutečně k úspoře energie, jestli se budova chová tak, jak předpokládá počítačový model a do jaké míry se liší výsledky energetické simulace od reality.

Práce je tedy zaměřena nejprve na dlouhodobý monitoring in situ, spotřeby energií vybrané realizované budovy a vnějších klimatických podmínek a to pro získání dat, která budou sloužit k porovnání s výsledky simulací. Naměřená klimatická data budou jako vstupní okrajová podmínka zpřesňovat výpočet a napomáhat k validaci modelu.

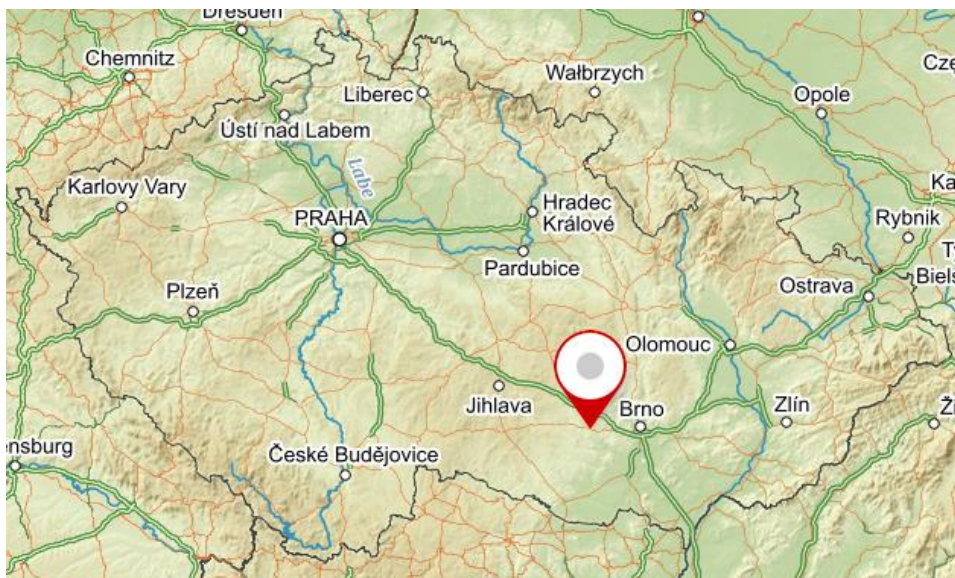
U ověřeného modelu výpočtu se změnou různých vstupních podmínek se vzájemnými kombinacemi lze optimalizovat návrh pro snížení spotřeby energie.

4 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ SPOTŘEB ENERGIÍ

4.1 Lokalita vybraných budov

Pro potřeby výzkumu byla úspěšně navázána spolupráce s majiteli dvou rodinných domů, kteří byli ochotni umožňovat dlouhodobý (delší než jeden rok) přístup do domu, byli loajální k osazení čidel s drobnými stavebními zásahy a akceptovali, že data, nepřímo vypovídající o jejich způsobu života, jsou někde shromažďována a publikována.

Obě tyto budovy mají parametry na hranici požadavků energeticky pasivního domu a nacházejí se nedaleko sebe (80 m) v obci Rapotice (cca 35 km západně od Brna) v nadmořské výšce 495 m n.m.



Obr. 4.1: Umístění vybraných budov

Od analyzování a hodnocení jednoho z objektů bylo při sepisování této práce ustoupeno a to z několika důvodů, jako např. časté opomíjení záznamů spotřeby elektřiny majitelem domu, nemožnost osazení kalorimetrických měřidel u integrovaného zásobníku tepla, komplikací energetických výpočtů ve formě kruhového půdorysu objektu (skládání z několika segmentů, což značně zatěžuje dynamický výpočet až do doby jeho zhroucení), zateplení slámou (nejasné tepelné technické parametry), užití krbových kamen (nejasný tepelný zisk). Proto se práce dále zabývá pouze jedním z objektů.

4.2 Zájmový objekt

4.2.1 Popis objektu

Tab. 4.1: Základní údaje o budově (foto autora)

	
Adresa:	Rapotice (495 m n.m.), okr. Třebíč, kraj Vysočina, 49°11'14.449"N, 16°15'21.427"E,
Dokončení výstavby:	X / 2010
Počet podlaží:	2
Počet obyvatel:	2

Samostatně stojící dvoupodlažní RD je obydlen od října 2010, je nepodsklepený a s pultovou střechou. Založený je na 250 mm tlusté ŽB základové desce spočívající na 200 mm XPS. Pultová střecha je zateplena 350mm EPS. Nosná část obvodové stěny je tvořena pórobetonovými tvarovkami tl. 200 mm, které jsou zatepleny 300 mm šedého polystyrénu. Pasivní solární zisky jsou zabezpečeny značným prosklením jižní fasády se zasklením trojskly ($U_g = 0,58 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, $g = 66\%$). Pro případ letního přehřívání jsou instalovány předokenní žaluzie a stínící konstrukce (slunolam).

Ke snížení tepelné ztráty větráním (a tím celé energetické náročnosti domu) napomáhá užití nuceného větrání se vzduchotechnickou jednotkou s pasivní rekuperací = s křížovým deskovým výměníkem pro zpětné získávání tepla z odpadního vzduchu s účinností 88 %. Zároveň je díky nucenému větrání zajištěna hygienická výměna vzduchu v obytných místnostech, čímž přispívá k vyšší kvalitě vnitřního prostředí. Konečný dohřev vzduchu je zajištěn instalovanými infrapanely o výkonu 500 W, které jsou umístěny na stropěch všech obytných místností. Doplněny jsou ještě elektrickými topnými žebříky v koupelnách. Větrací vzduch je do jednotky vháněn přes zemní

výměník tepla, který je z PE potrubí DN 250 mm, 36 m dlouhý a v hloubce 3 m. Tento zemní výměník zajišťuje přehřev větracího vzduchu v zimním období a předchlazování čerstvého a cirkulačního vzduchu v letním období. Teplá voda je připravována v 300 l zásobníku za pomoci elektrického topného tělesa. V RD byl proveden Blower Door test s výsledkem $0,44 \text{ h}^{-1}$. V budově není instalováno žádné chladič zařízení.



Obr. 4.2: Vzduchotechnická jednotka NILAN Comfort 300 (foto autora)



Obr. 4.3: Elektrický ohřívač vody DRAŽICE - OKCE 300 S/1 MPa (foto autora)



Obr. 4.4: Infrapanel Sun Waves SW 500W-K (foto autora)



Obr. 4.5: Nasávání vzduchu zemního výměníku tepla (foto autora)

Energonositel pro krytí potřeby provozní energie je elektřina. Detailnější popis je v Tab. 4.2.

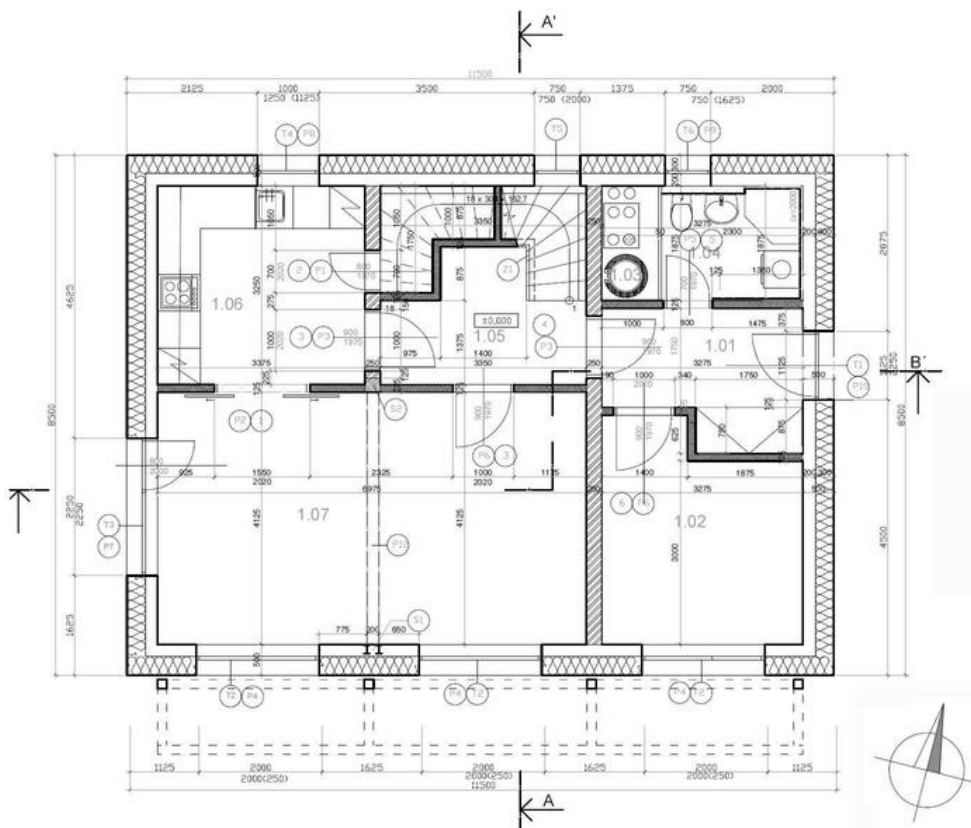
Tab. 4.2: Technická data objektu (hranatý dům)

Geometrická data:			
Objem stavby (V):	635,4 m ³	Počet podlaží:	2
Ochlazovaná plocha (A):	458,9 m ²	Čistá podlahová plocha:	139,3 m ²
Poměr A/V:	0,72 (-)	Energeticky vztažná plocha:	195,5 m ²

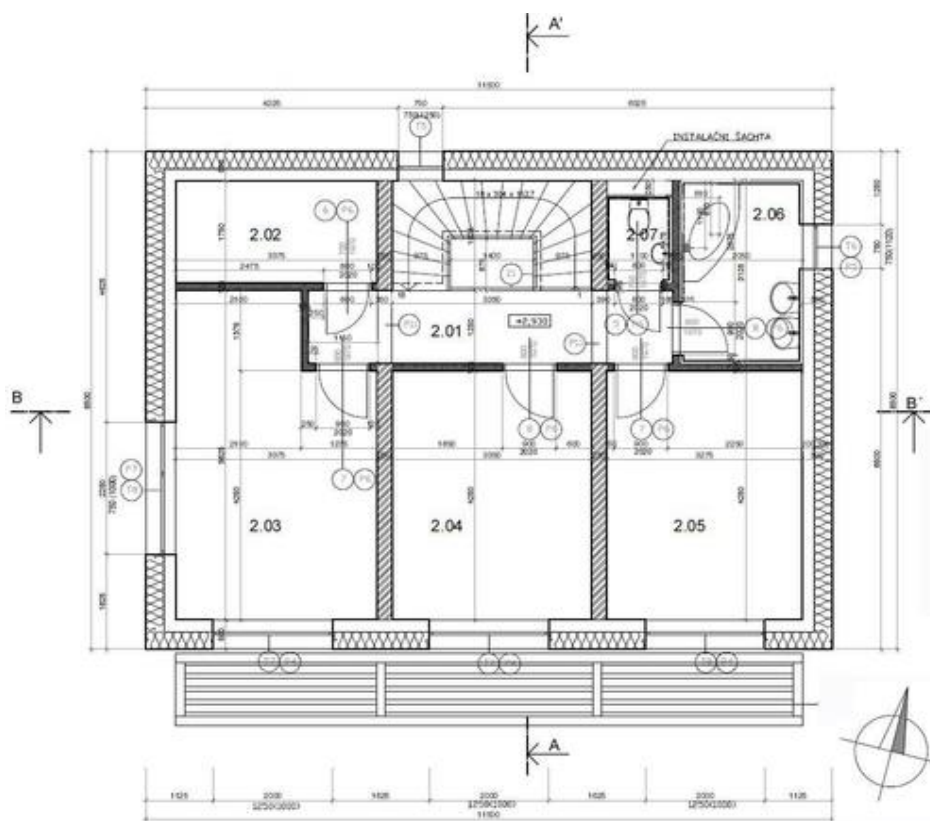
Tepelnětechnické vlastnosti obálky:		Systémové charakteristiky:	
Vnější stěna:	$U = 0,097 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$	Vytápění	Infrapanely Sun Waves 3x SW 500W-K - výkon 500 W / panel
Podlaha na zemině:	$R = 6,10 \text{ m}^2 \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}$ $U = 0,159 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$	Příprava teplé vody:	Elektrický bojler 300 l, DRAŽICE - OKCE 300 S/1 MPa (2,2 kW, 1 topné těleso)
Střecha:	$U = 0,107 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$	Vzduchotechnická jednotka:	Nilan Comfort 300 – účinnost rekuperace 88 % (na $200 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)
Okna:	$U_f = 0,93 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ $U_g = 0,58 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ $g = 66\%$	Zemní výměník tepla:	délka 36 m, hloubka 3 m, průměr DN250, PE, Rehau SN 100
Dveře:	$U_d = 0,54 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$		
Prosklení fasády:	$S - 1,4 \text{ m}^2 = 2 \%$ $V - 0,2 \text{ m}^2 = 0,4 \%$ $J - 15,4 \text{ m}^2 = 19 \%$ $Z - 4,9 \text{ m}^2 = 9\%$		
Blower Door test:	$n_{50} = 0,44 \text{ h}^{-1}$		

Detailnější tepelnětechnické posouzení stavebních konstrukcí obálky budovy, viz. Příloha č. 1: *Komplexní tepelnětechnické posouzení stavebních konstrukcí obálky budovy „hranatého“ domu.*

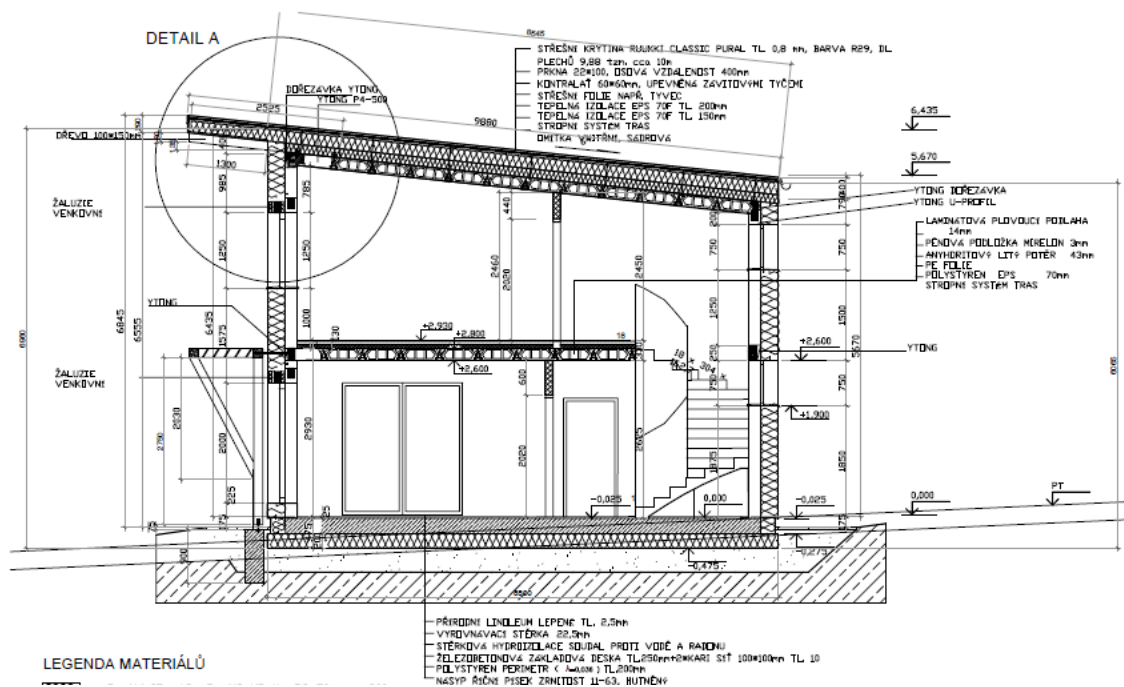
V Příloha č. 2: *Charakteristika průsvitných ochlazovaných konstrukcí jsou parametry okenních výplní a výpočty jejich tepelnětechnických vlastností.*



Obr. 4.6: Půdorys INP (hrnatý dům)



Obr. 4.7: Půdorys 2NP (hranatý dům)



Obr. 4.8: Svislý řez (hranatý dům)

4.2.2 Cíle sledování

Cílem měření je monitorování a vyhodnocování energetických toků v budově. Sledovány jsou spotřeby všech systémů (vytápění, příprava TV, nucené větrání, spotřebiče, osvětlení atd.) a výsledkem má být vyhodnocení energetické náročnosti spojené se samotným provozem budovy. V další fázi disertační práce budou tato naměřená data porovnávána s výpočty energetických simulací.

4.2.3 Experimentální měření

Díky získaným grantům specifického vysokoškolského výzkumu (*FAST-J-12-1757: „Modelování a hodnocení energeticky pasivního domu“* a *FAST-J-13-2035: „Hodnocení energetické náročnosti a vnitřního mikroklimatu energeticky pasivního domu“*) byl financován nákup měřicí techniky, která byla osazena jak uvnitř, tak vně zájmových objektů. Z důvodu nedostatku finančních prostředků (ani nebylo možné dlouhodobé zapůjčení) nemohla být použita centrální měřicí ústředna, která by měla vzdálený přístup přes internet, a proto probíhalo stahování dat uložených v paměti jednotlivých zařízení (meteorologická stanice, pyranometr, dataloggery, měřiče elektřiny) při osobní návštěvě přibližně jednou za 2 měsíce.

4.2.3.1 Meteorologická data

Během dlouhodobého měření (4/2014 – 10/2015) byla na jednom z objektů umístěna meteorologická stanice WH1080 (*Obr. 4.9 a Obr. 4.10*), která s půlhodinovým krokem monitorovala a zaznamenávala parametry vnějších klimatických podmínek (konkrétně teplotu, relativní vlhkost a tlak vzduchu, směr a rychlost větru, teplotu rosného bodu, množství srážek a další).



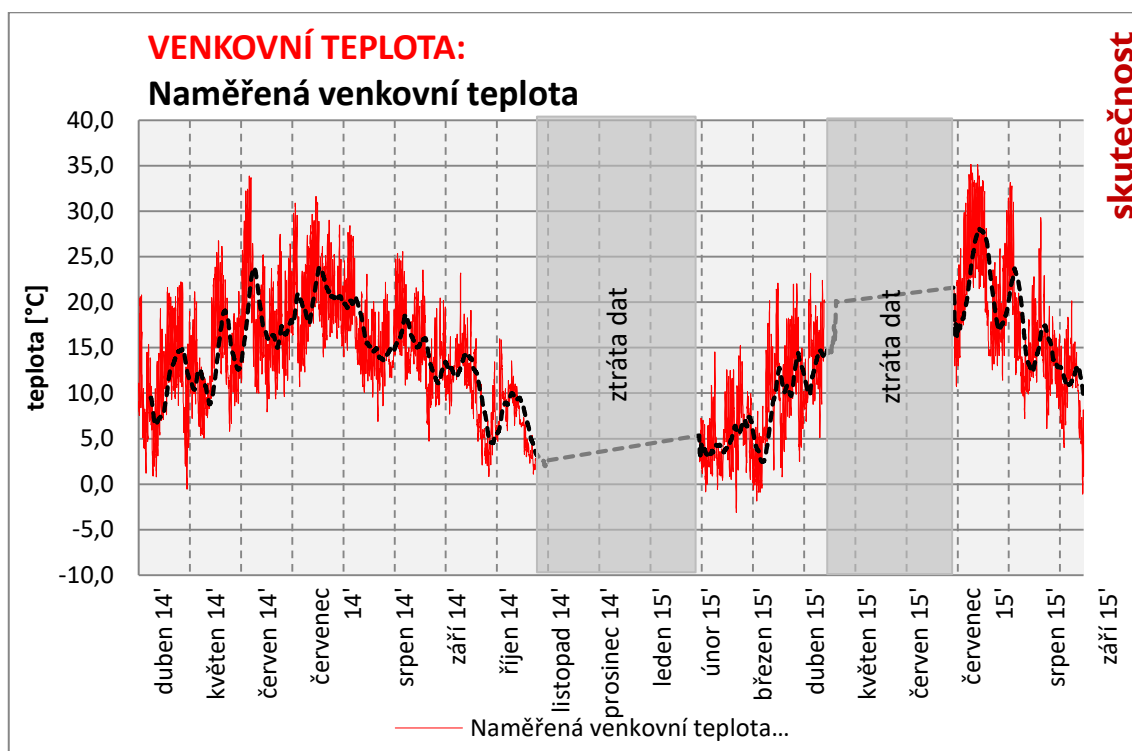
Obr. 4.9: Umístění meteorologické stanice WH1080 na střeše jednoho z objektů (foto autora)



Obr. 4.10: Meteorologické stanice WH1080

Průběh měření se bohužel neobešel bez výpadků ukládání dat. Velkou slabinou se ukázala absence centrální měřicí ústředny, která by měla vzdálený přístup přes internet, a tím i možnou průběžnou kontrolu funkčnosti měření. Stahování uložených dat probíhalo vždy při osobní návštěvě, kdy v případě zjištění poruchy byl předchozí interval naměřených dat již nenávratně ztracen.

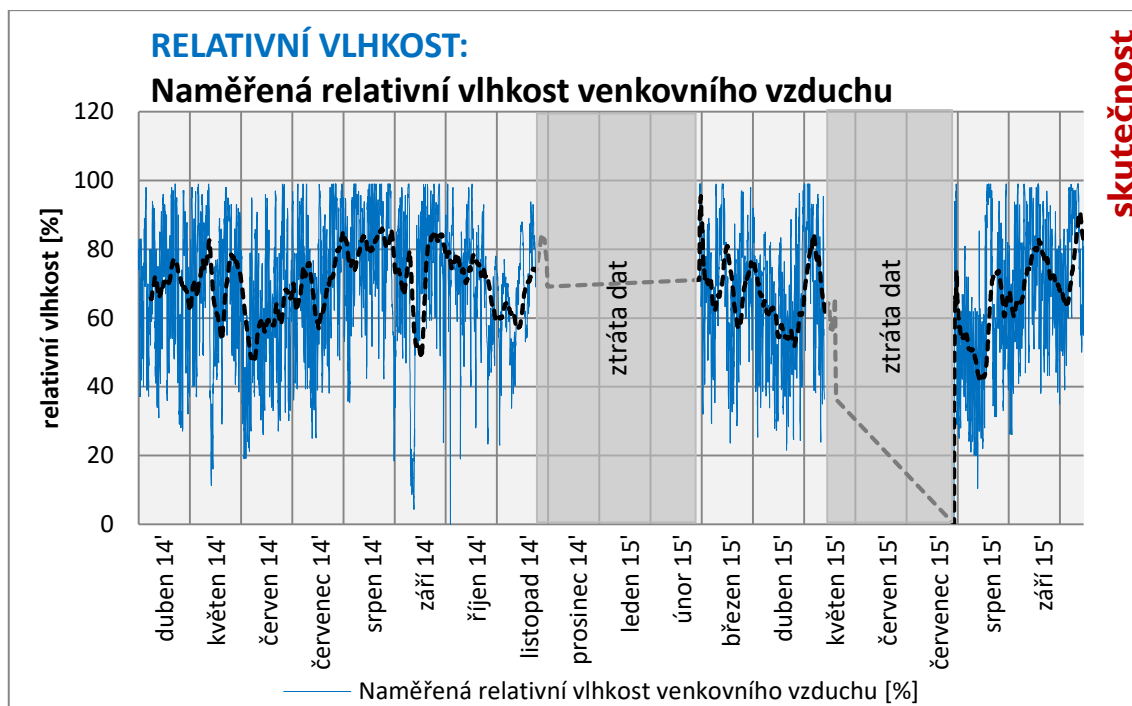
Dva velké výpadky byly způsobeny poruchou zařízení, které bylo následně reklamováno a opravováno (25. 11. 2014 – 1. 3. 2015), a dále pak nedostatečnou kapacitou paměti, kdy došlo k přepisu již zaznamenaných dat (13. 5. 2015 – 28. 7. 2015). Ukázka skutečně naměřených a již zpracovaných dat venkovní teploty je na *Obr. 4.11* a relativní vlhkosti vzduchu na *Obr. 4.12*.



Obr. 4.11: SKUTEČNOST - Ukázka průběhu naměřené venkovní teploty během monitorovaného období

Z grafu (*Obr. 4.11*) je patrný očekávaný sinusový průběh venkovních teplot během roku, kdy nejnížší zaznamenaná teplota byla $-3,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, nejvyšší $35,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a průměrná $13,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tyto hodnoty jsou ovšem zkreslené, protože jsou bez dat ze dvou výpadků, která budou muset být později nahrazena údaji z Referenčního klimatického roku (RKR) (dle požadavku normy ČSN EN ISO 15927-4), který byl zakoupen od ČHMÚ pro konkrétní danou lokalitu (Rapotice).



Obr. 4.12: SKUTEČNOST - Ukázka průběhu naměřené relativní vlhkosti venkovního vzduchu během monitorovaného

Z důvodu vícero násobného stahování dat musela být celá datová sada skládána z několika uložených souborů do jednoho a veškeré hodnoty (265 820 hodnot hodinového kroku) vizuálně překontrolovány. U drobných lokálních výpadků (cca 6x) některých měřených hodnot musela být provedena náhrada (dopočítány hodnoty interpolací z okolních dat), stejně jako synchronizace kroku záznamu všech naměřených dat (z 30 minutového na hodinová data a vždy v celou hodinu).

Těmito časově náročnými úkony byly naměřené hodnoty upraveny (i za pomoci vytvoření několika maker ve Visual Basic for Applications (VBA)) do požadovaného tvaru a formátu. Tato data budou porovnávána s výpočtovými klimatickými sadami. Dále budou sloužit jako okrajová vstupní podmínka výpočtu, která snižuje vnesenou chybu na výsledek.

4.2.3.2 Sluneční ozáření

Velice významnou částí energetické bilance budovy jsou solární tepelné zisky, kdy dům dokáže pasivně (tedy bez pomoci technických zařízení) využívat teplo ze slunečního záření.

K měření celkové (globální) intenzity slunečního ozáření na vodorovnou plochu byla budova od 6/2014 do 10/2015 osazena pyranometrem FLA 628 S (Obr. 4.13

a Obr. 4.14). Tento segmentový pyranometr pracuje na principu teplotního rozdílu „bílých a černých“ termočlánků umístěných vně kopule.

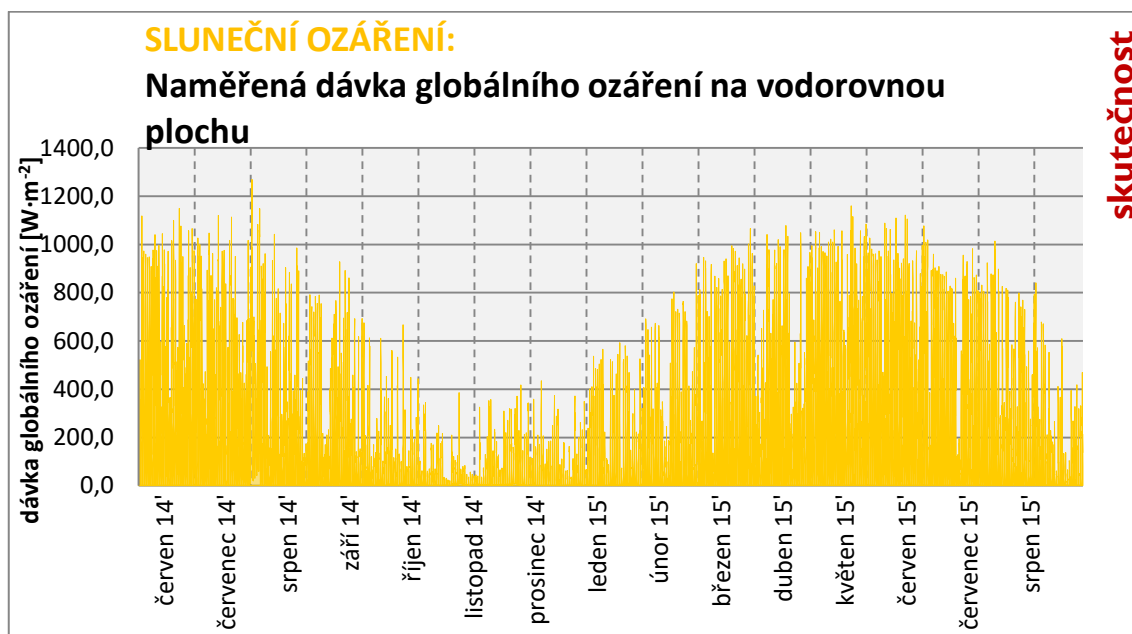


Obr. 4.13: Pyranometr FLA 628 S (foto autora)



Obr. 4.14: Umístění pyranometru na střeše objektu (foto autora)

Celkové (globální) ozáření, které dopadá na zemský povrch, se skládá ze dvou složek – přímého a difúzního ozáření. Obecně je pyranometrem možné měřit jak celkové (globální) ozáření, tak pouze difúzní za použití stínítka, které zabrání dopadu přímého slunečního záření na povrch přístroje. Protože se denní dráha Slunce po obloze neustále mění, je nutno co několik dní stínící štít ručně přestavovat, což nebylo v daném případě z provozních důvodů možné. Proto bylo měřeno jen celkové (globální) ozáření na horizontální plochu, které musí být pro pozdější použití v simulacích výpočtově (pomocí matematického separačního modelu) rozděleno na difúzní a zbývající přímou složku. Grafické zobrazení dat za celé měřené období je na Obr. 4.15.

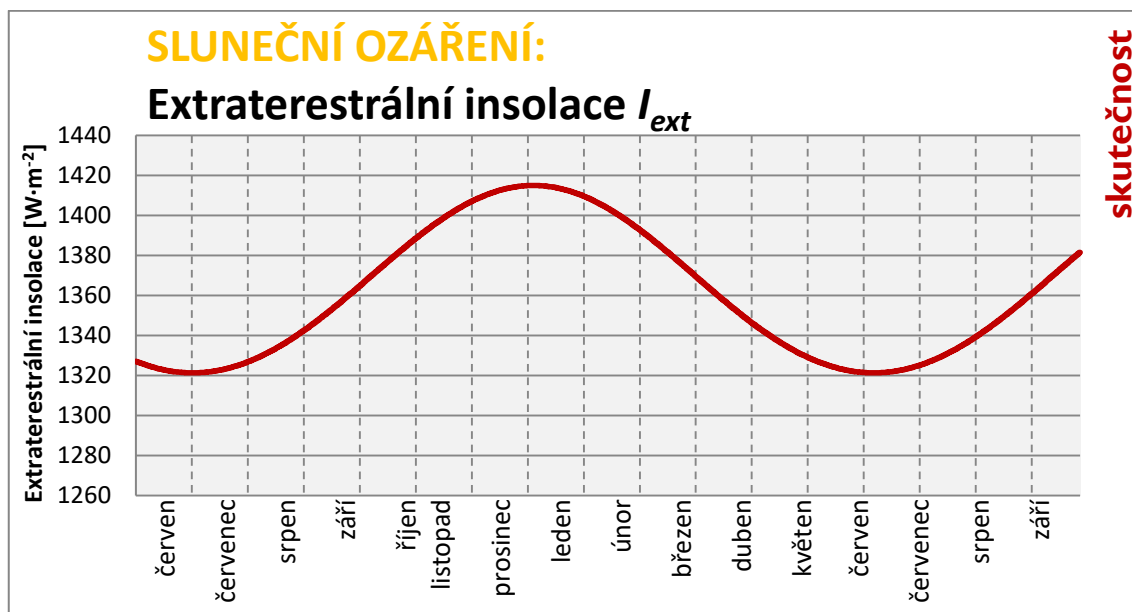


Obr. 4.15: SKUTEČNOST - Graficky znázorněná data globálního ozáření za celé měřené období

Z grafu (Obr. 4.15) je patrný očekávaný průběh naměřené intenzity globálního ozáření na vodorovnou plochu, se svými maximy v létě a nejvyšší naměřenou hodnotou $1268,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Pro odhad difuzní složky slunečního ozáření byl z několika separačních modelů vybrán model Reindl, který oproti ostatním vykazuje menší relativní chybu, čím je větší výška slunce nad obzorem. Další jeho výhodou je použití většího počtu vstupních parametrů výpočtu, které by měly více zohlednit lokalitu měření.

Do výpočtu vstupuje tzv. extraterestrální insolace, což je zpřesnění sluneční (solární) konstanty ($G_{sc} = 1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$), která se v průběhu roku (díky mírně eliptické dráze Země kolem Slunce) mění (max. cca $\pm 3\%$ od základní hodnoty sluneční konstanty). Je to tedy aktuální hodnota sluneční konstanty v průběhu roku s měnící se vzdáleností Země od Slunce. Vypočítá se dle vzorců (6) – (8)¹³. (Obr. 4.16 a 9.3 Příloha č. 3: SKUTEČNOST – Náhled na výpočet extraterestrální insolace (aktuální hodnoty sluneční konstanty) a výšky slunce).

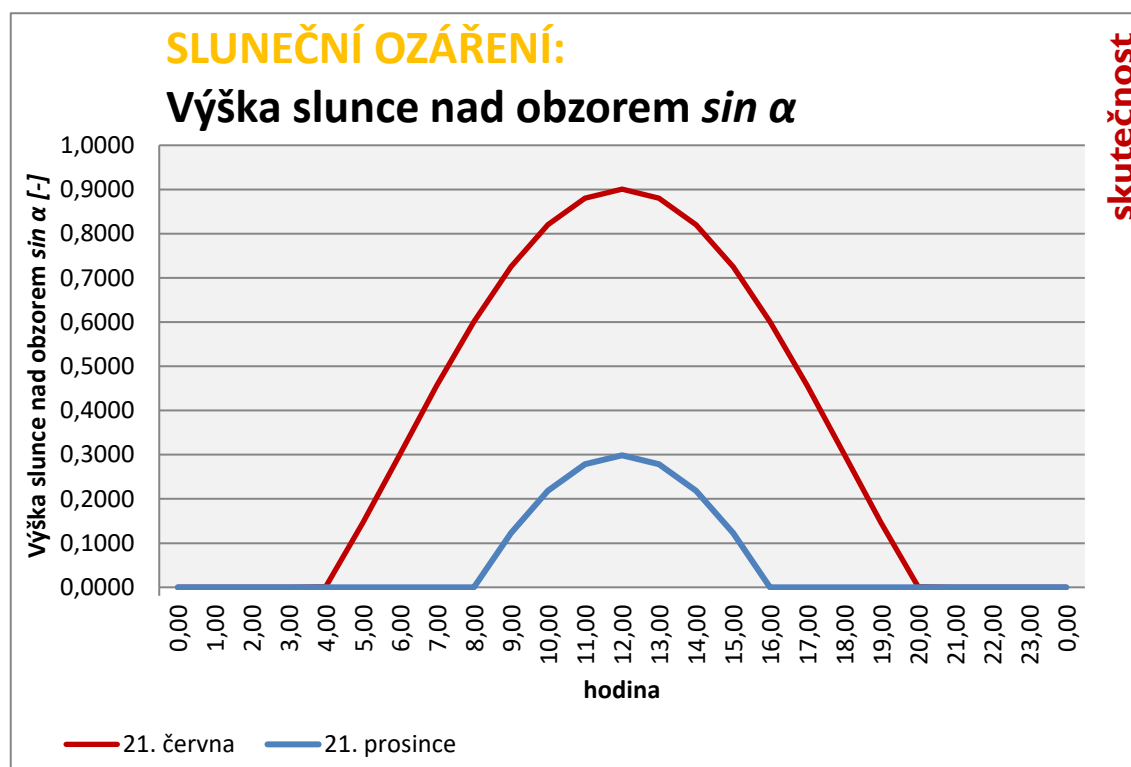


Obr. 4.16: SKUTEČNOST - Grafické znázornění vypočítaných hodnot extraterestrální insolace (aktuální hodnoty sluneční konstanty)

¹³ V grafu (Obr. 4.16) zaznamenaných vypočtených hodnot extraterestrální insolace během roku, se může zdát nepochopitelné, proč jsou hodnoty v zimním období vyšší než v letním. Je to dáno tím, že se Země pohybuje kolem Slunce po eliptické dráze (přibližující se kružnici), přičemž Slunce je umístěno v jednom ohnisku této elipsy. Proto se v průběhu roku mění i vzdálenost Země od Slunce a tím i velikost sluneční konstanty. Vychýlením zemské osy od normály je v „našem“ zimním období (na jižní polokouli je léto) zemská osa odkloněna od Slunce a na severní polokouli dopadá méně paprsků, ale Země je v tuto dobu nejbližší Slunci.

Roční období nejsou dány vzdáleností Země od Slunce, ale tím, která polokoule je k Slunci více přikloněna. Samotná vzdálenost má pak až druhořadý vliv, avšak ne úplně zanedbatelný. Ovlivňuje to, že na jižní polokouli jsou větší rozdíly mezi zimou a létem, neboť pokud je na jižní polokouli léto, je tato polokoule přikloněná ke Slunci a navíc je Země k Slunci blíže, v zimě je pak tomu naopak. [81]

Dále pak podle vzorů (12) až (14) byla za pomoci deklinace, zeměpisné šířky lokality a časového a datového úhlu spočítána výška slunce nad obzorem – α (Obr. 4.17 a 9.3 Příloha č. 3: SKUTEČNOST – Náhled na výpočet extraterestrální insolace (aktuální hodnoty sluneční konstanty) a výšky slunce)..

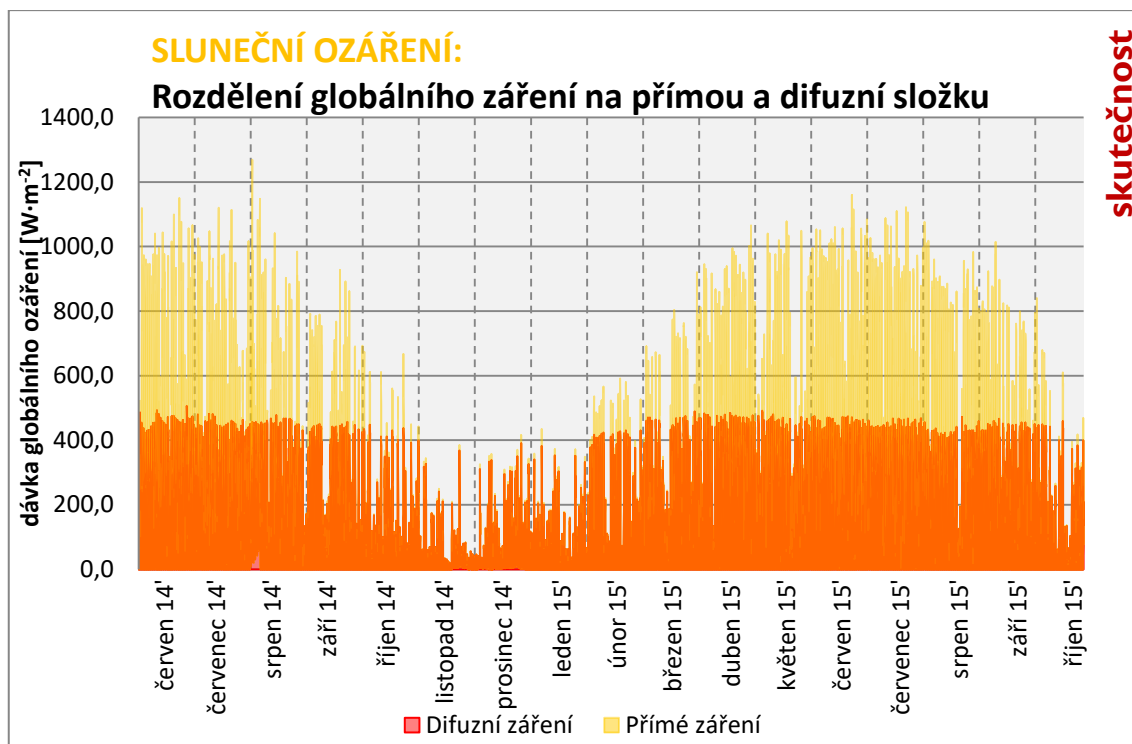


Obr. 4.17: SKUTEČNOST - Grafické znázornění vypočítaných hodnot výšky slunce například pro 21. června (nejvyšší hodnoty v roce) a 21. prosince (nejnižší hodnoty v roce)

Nakonec bylo naměřené globální ozáření, pomocí separačního modelu REINDL (vzorce (9) – (11)), rozděleno na jeho difuzní a přímou složku (Obr. 4.18 a Obr. 4.19):

číslo	čas	Globální záření na vodorovnou rovinu	Extraterestrální insolace	teplota	vlhkost	výška Slunce nad obzorem	index jasnosti	interval a omezení pro k_d				podíl difúzního záření	Difúzní záření na vodorovnou rovinu	Přímé záření na vodorovnou rovinu	
		I [W·m ⁻²]	I_{ext} [W·m ⁻²]	T_a [°C]	ϕ [%]	- -	k_t [-]	$0 \leq kt \leq 0,3$	omezení	$0,3 < kt < 0,78$	interval	omezení	k_d [-]	I_d [W·m ⁻²]	I_p [W·m ⁻²]
1	4.6.2014 18:00	125,9	1327	21,2	38	0,38	0,0949	0,9780	0,9780	1,2086	0,9700	0,9700	0,9780	123,2	2,8
2	4.6.2014 19:00	132,9	1327	18,2	60	0,60	0,1001	0,9793	0,9793	1,1915	0,9700	0,9700	0,9793	130,1	2,8
3	4.6.2014 20:00	68,7	1327	18,1	60	0,60	0,0518	0,9873	0,9873	1,2391	0,9700	0,9700	0,9873	67,9	0,9
4	4.6.2014 21:00	1,1	1327	17,4	56	0,56	0,0009	0,9989	0,9989	1,3250	0,9700	0,9700	0,9989	1,1	0,0
5	4.6.2014 22:00	0,0	1327	18,2	57	0,57	0,0000	0,9987	0,9987	1,3245	0,9700	0,9700	0,9987	0,0	0,0
6	4.6.2014 23:00	0,0	1327	16,7	66	0,66	0,0000	1,0016	1,0000	1,3399	0,9700	0,9700	1,0000	0,0	0,0
7	5.6.2014 0:00	0,0	1327	14,1	76	0,76	0,0000	1,0052	1,0000	1,3594	0,9700	0,9700	1,0000	0,0	0,0
8	5.6.2014 1:00	0,0	1327	13,6	76	0,76	0,0000	1,0055	1,0000	1,3610	0,9700	0,9700	1,0000	0,0	0,0
9	5.6.2014 2:00	0,0	1327	12,9	81	0,81	0,0000	1,0069	1,0000	1,3684	0,9700	0,9700	1,0000	0,0	0,0
10	5.6.2014 3:00	0,0	1327	13,0	83	0,83	0,0000	1,0073	1,0000	1,3705	0,9700	0,9700	1,0000	0,0	0,0
11	5.6.2014 4:00	0,0	1327	13,1	82	0,82	0,0000	1,0071	1,0000	1,3693	0,9700	0,9700	1,0000	0,0	0,0
12	5.6.2014 5:00	10,5	1327	12,9	84	0,84	0,1341	1,0089	1,0000	1,3939	0,9700	0,9700	1,0000	10,5	0,0
13	5.6.2014 6:00	21,4	1327	12,5	87	0,87	0,2903	1,0116	1,0000	1,4264	0,9700	0,9700	1,0000	21,4	0,0
14	5.6.2014 7:00	67,0	1327	11,6	91	0,91	0,4465	1,0087	1,0000	1,4163	0,9700	0,9700	1,0000	67,0	0,0
15	5.6.2014 8:00	65,3	1327	11,8	90	0,90	0,5921	1,0123	1,0000	1,4561	0,9700	0,9700	1,0000	65,3	0,0
16	5.6.2014 9:00	139,7	1327	12,1	89	0,89	0,7171	1,0018	1,0000	1,3908	0,9700	0,9700	1,0000	139,7	0,0
17	5.6.2014 10:00	256,5	1327	13,2	83	0,83	0,8130	0,9819	0,9819	1,2558	0,9700	0,9700	0,9819	251,8	4,6
18	5.6.2014 11:00	325,6	1327	13,1	84	0,84	0,8733	0,9714	0,9714	1,1832	0,9700	0,9700	0,9714	316,2	9,3
19	5.6.2014 12:00	522,0	1327	14,1	84	0,84	0,8939	0,9369	0,9369	0,9314	0,9314	0,9314	0,9314	486,2	35,8
20	5.6.2014 13:00	182,8	1327	15,3	82	0,82	0,8733	0,9945	0,9945	1,3582	0,9700	0,9700	0,9945	181,7	1,0

Obr. 4.18: Náhled na 20 (z 12 143) vypočítaných hodnot difúzního a přímého slunečního ozáření



Obr. 4.19: SKUTEČNOST - Grafické znázornění rozdělení naměřeného globálního ozáření na difuzní a přímou složku

Graf (Obr. 4.19) znázorňuje rozdělení naměřené dávky globálního ozáření (na vodorovnou plochu) na difuzní složku (oranžová barva) a na ni navazující přímou složku ozáření (žlutá barva). Toto rozdělení je potřebné pro vkládání naměřených klimatických podmínek do energetických výpočtů, kdy má přímé sluneční ozáření značný vliv na solární zisky přes prosklené plochy.

4.2.3.3 Měření vnitřního prostředí

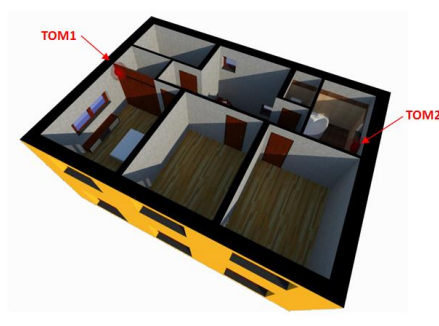
Pro pozdější porovnání a ověření výsledků simulací parametrů vnitřního prostředí, bylo v interiéru umístěno několik dataloggerů OMEGA OM-EL-USB-2 (Obr. 4.20 až Obr. 4.22) k měření vnitřní teploty a relativní vlhkosti vzduchu a záznamník měření koncentrace CO_2 WÖHLER CDL 210. Pro dosažení co největší přesnosti měřených údajů bylo před použitím každé čidlo „kalibrováno“ srovnáním s referenčním ověřeným čidlem. Nevhodná čidla byla vyřazena a v budově osazena pouze ta s přesvědčivými výsledky měření.



Obr. 4.20:
Datalogger
OMEGA OM-
EL-USB-2

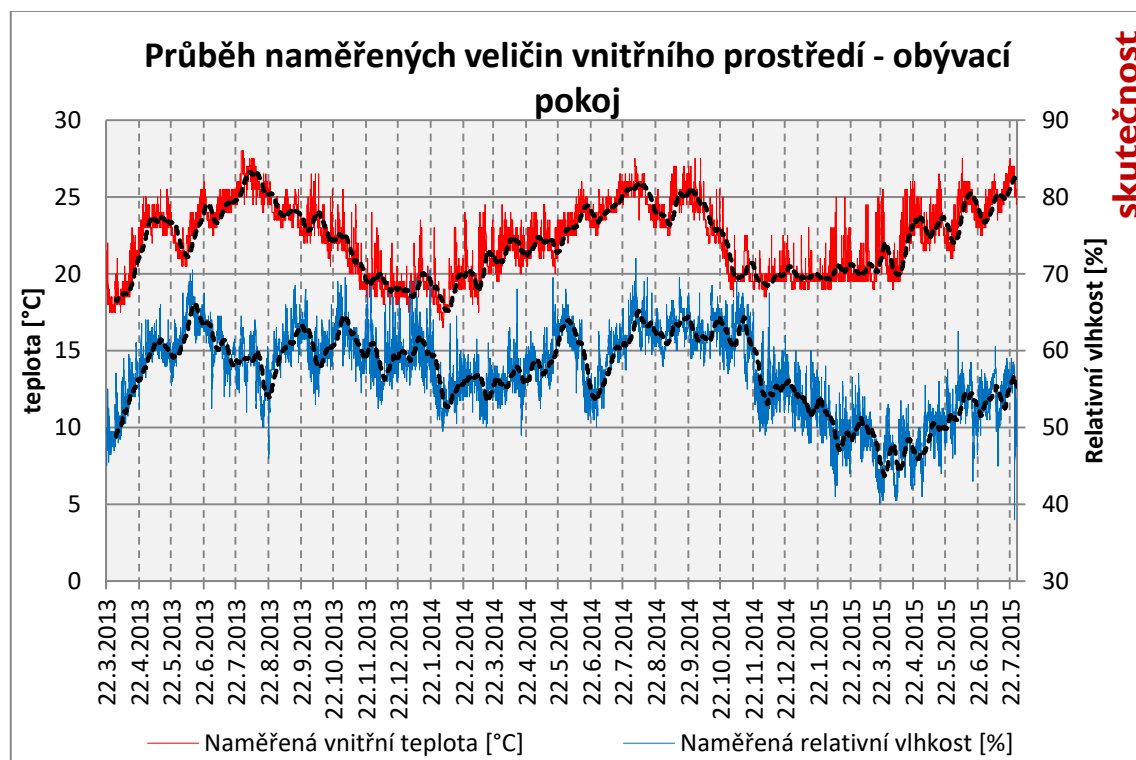


Obr. 4.21: Umístění dataloggerů v 1NP



Obr. 4.22: Umístění dataloggerů ve 2NP

Měření probíhalo v několika místnostech budovy (*TOM1_2NP* – ložnice, *TOM2_2NP* – koupelna, *TOM3_1NP* – koupelna, *TOM4_1NP* – obývací pokoj) v období 3/2013 – 7/2015 a s hodinovým krokem (20 591 řádků záznamu). V rámci prezentace výsledků jsou na Obr. 4.23 znázorněna naměřená data charakteristických ukazatelů (teploty a relativní vlhkosti) stavu vnitřního prostředí ve vybrané místnosti (obývací pokoj) za celé monitorované období.



Obr. 4.23: SKUTEČNOST - Naměřené vnitřní veličiny v obývacím pokoji během monitorovaného období

Na přiloženém grafu (Obr. 4.23) je patrný vývoj vnitřní teploty, která má za celé monitorovací období průměrnou hodnotu 22,2 °C, kdy nejnižší naměřené hodnoty (minimum 16,5 °C) jsou zaznamenány v třítydenním intervalu na přelomu ledna a února

2014, kdy byly obyvatelé domu na dovolené. Na průběhu teplot v letních měsících je znát vliv solárních zisků přes velké prosklené plochy (orientované na jih), kdy dochází ke značnému zvýšení teploty až na maximálních 28 °C.

Stejně tak je patrný vliv VZT systému, který udržuje úroveň relativní vlhkosti interiéru bez větších výkyvů. V přechodných obdobích jara (květen) a podzimu (srpen – listopad) se pohybuje průměrná relativní vlhkost vzduchu nad 60 %, což je nad doporučenou komfortní hranicí. Může to být důsledek nedostatečné intenzity větrání, kdy venkovní teploty neumožňují přirozené větrání a mechanické větrání pomocí VZT systému je nastaveno na nízkou hodnotu (režim č. 1 = cca $55,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} = 0,16 \text{ h}^{-1}$), kdy obyvatelé nesledovali ani úroveň intenzity CO_2 .

4.2.3.4 Měření spotřeby elektřiny

Pro vyhodnocení jak dílčích, tak i celkové spotřeby energie domu, který je závislý pouze na jediném médiu - elektřině, byly v období 3/2014 až 3/2015 na všechny spotřebiče osazeny měřiče elektřiny FHT-9992 (Obr. 4.24) a v těžko dostupných místech bezdrátové digitální měřiče SOLIGHT DT23.



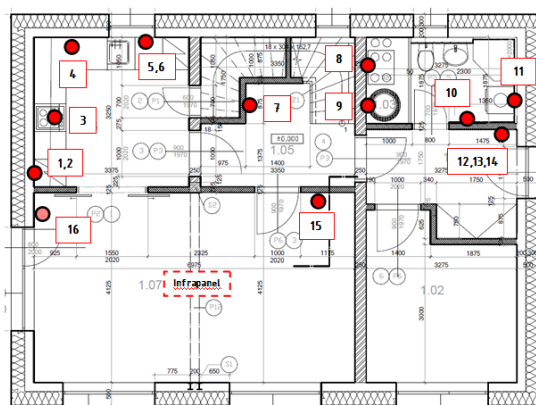
Obr. 4.24: Měřič spotřeby elektřiny FHT-9992 a SOLIGHT DT23



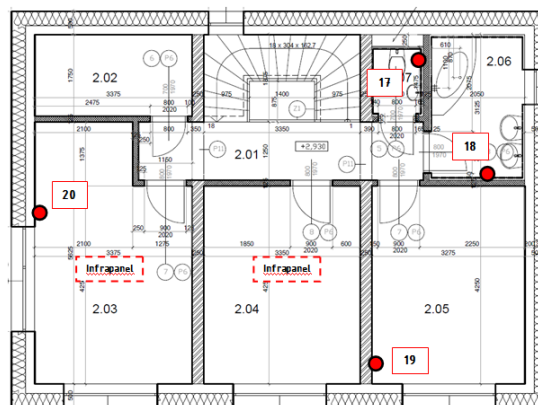
Obr. 4.25: Digitální elektroměr 1F na DIN lištu jednofázový HT-1YD

Pomocí podružných měřidel HT-1YD (Obr. 4.25) a HT-353D, umístěných v rozvodné elektrické skříni, byla také zaznamenávána spotřeba topných infrapanelů a varné desky.

Umístění jednotlivých elektroměrů na všech spotřebičích v celém domu je zobrazeno na Obr. 4.26 a Obr. 4.27.



Obr. 4.26: Umístění elektroměrů v 1NP



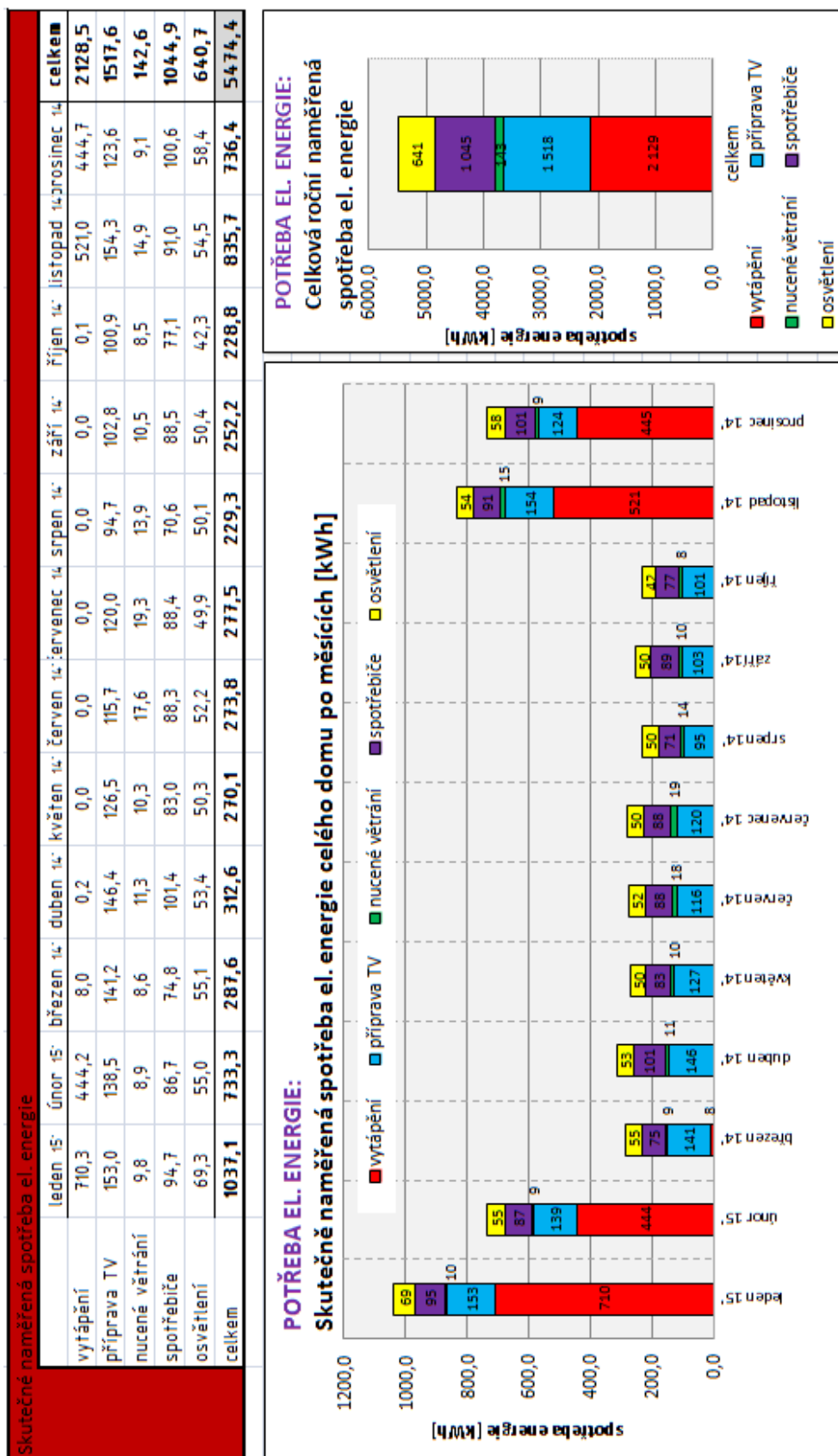
Obr. 4.27: Umístění elektroměrů ve 2NP

LEGENDA 1NP			
Ozn.	Název	Datum zapojení	Druh elektroměru
1	Mikrovlnná trouba	20.2 2014	Bezdrátový
2	Trouba	20.2 2014	Bezdrátový
3	Varná deska	20.2 2014	3-fázový
4	Rychlovarná konvice	30.1 2014	Boční
5	Myčka	20.2 2014	Nahoru
6	Lednička	20.2 2014	Nahoru
7	Robotický vysavač	30.1 2014	Boční
8	Vzduchotechnika s výměníkem tepla - Nilan	20.2 2014	Bezdrátový
9	Zásobník TV	20.2 2014	Boční
10	Elektrický topný žebřík (300W patrona)	30.1 2014	Boční
11	Pračka	20.2 2014	Boční
12	Infrapanel – obývací pokoj 107	20.2 2014	1-fázový
13	Infrapanel – pokoj 204	20.2 2014	1-fázový
14	Infrapanel – ložnice 203	20.2 2014	1-fázový
15	Domovní telefon	30.1 2014	Boční
16	Přímotop – obývací pokoj 107	30.1 2014	Boční
Celkový počet elektroměrů v 1NP - 16 ks			

LEGENDA 2NP			
Ozn.	Název	Datum zapojení	Druh elektroměru
17	WC – vyhřívané sedátko	30.1 2014	Boční
18	Elektrický topný žebřík (600W patrona)	30.1 2014	Boční
19	PC sestava (case, monitor)	30.1 2014	Boční
20	Ložnice (zásuvka)	30.1 2014	Boční
21	Náhradní	20.2 2014	Boční
Celkový počet elektroměrů ve 2NP - 5 ks			

Každý měsíc byly všechny naměřené hodnoty z měřičů odečítány a zapisovány do tabulky (*Příloha č. 4: SKUTEČNOST - Měsíční záznam odečtů z měřičů elektřiny*), která byla rozdělena do pěti základních skupin (vytápění, příprava TV, nucené větrání, spotřebiče a osvětlení) a vyhodnocena na Obr. 4.28.

skutečnost



Obr. 4.28: SKUTEČNOST - Skutečně naměřená spotřeba elektriny celého domu

Na *Obr. 4.28* je vyhodnocena skutečně naměřená roční spotřeba elektřiny domu, která je rozdělena do pěti základních skupin (vytápění, příprava TV, nucené větrání, spotřebiče, a osvětlení) a dosahuje hodnoty 5 474,4 kWh. Nejvyšší podíl (38,8 %) na spotřebě domu má vytápění (2 128,5 kWh), které je v provozu od listopadu do začátku března a zbylou část roku pokryjí energetické nároky domu solární a vnitřní zisky. Za vytápěním následuje příprava teplé vody (1 517,6 kWh = 27,7 %), spotřebiče (1 044,9 kWh = 19,1 %), osvětlení 640,7 kWh = 11,7 %) a nucené větrání (142,6 kWh = 2,6 %). Ze zobrazených hodnot je patrné, že v zimních měsících je dříve tma, což dokládá mírně vyšší spotřeba elektřiny na osvětlení, oproti zbylé části roku. Stejně tak je v těchto měsících i vyšší spotřeba teplé vody.

Ve skutečně naměřených datech je zarážející značný nárůst potřeby energie v listopadu a naopak nižší spotřeba v prosinci. To může být částečně způsobeno i brzkým (27. 10.) a pozdním (4. 12.) odečtem ovlivňujícím listopad a přilehlé měsíce.

4.3 Závěr k experimentálnímu měření a vyhodnocení

Vnější klimatické podmínky:

Úspěšně bylo provedeno dlouhodobé měření vnějších klimatických podmínek. Od 7. 4. 2014 do 23. 10. 2015 byly zaznamenávány nejvýznamnějšími veličiny (teplota vzduchu, relativní a absolutní vlhkost vzduchu, tlak vodní páry, teplota rosného bodu, dávka globálního slunečního ozáření, rychlost a směr větru, a další). Pro měření těchto klimatických dat sloužila meteorologické stanice a pyranometr.

V případě meteorologické stanice se velkou slabinou ukázala absence centrální měřicí ústředny, která by měla vzdálený přístup přes internet, a tím i možnou průběžnou kontrolu funkčnosti měření. Stahování uložených dat probíhalo vždy při osobní návštěvě, kdy v případě zjištění poruchy byl předchozí interval naměřených dat již nenávratně ztracen. Měření postihly dva výpadky, které byly způsobeny poruchou a následnou opravou zařízení (25. 11. 2014 – 1. 3. 2015), a dále pak přepisem již zaznamenaných dat z důvodu nedostatečné kapacity paměti (13. 5. 2015 – 28. 7. 2015). Ztracená data musela být nahrazena údaji z Referenčního klimatického roku (RKR) pro konkrétní danou lokalitu (Rapotice). Veškerá zaznamenaná data byla složena z několika datových souborů do jednoho a všechny hodnoty (265 820 hodnot hodinového kroku) vizuálně překontrolovány (lokální výpadky některých měřených hodnot byly dopočítány interpolací z okolních dat). Za pomoci vytvoření několika maker ve VBA

byly naměřené hodnoty upraveny do požadovaného tvaru a formátu (hodinový krok, záznam vždy v celou hodinu, ...).

Segmentový pyranometr měřil pouze celkovou (globální) dávku slunečního ozáření na vodorovnou plochu a to z toho důvodu, že v daném případě nebylo možné co několik dní ručně nastavovat stínící štít, který by zabránil dopadu přímého slunečního záření na povrch přístroje. Proto byla zaznamenaná data výpočtově (pomocí matematického separačního modelu REINDL) rozdělena na difúzní a zbývající přímou složku. Opět byla, za pomoci vytvoření několika makr ve VBA, naměřená data upravena do požadovaného tvaru a formátu a dále tak mohou sloužit jako okrajová vstupní podmínka výpočtu, která snižuje vnesenou chybu na výsledek.

Výstupy jsou znázorněny na *Obr. 4.11*, *Obr. 4.12* a *Obr. 4.19*.

Vnitřní mikroklima:

Pro sledování parametrů vnitřního prostředí bylo v interiéru umístěno několik dataloggerů k měření vnitřní teploty a relativní vlhkosti vzduchu. Měření probíhalo od 22. 3. 2013 do 28. 7. 2015 v několika místnostech budovy (ložnice, koupelny, obývací pokoj) a slouží k vytvoření představy a o teplotním chování prostoru a k porovnání (ověření) správnosti simulace letní tepelné stability.

Výstup je znázorněn na *Obr. 4.23*.

Spotřeba elektřiny:

Objekt je energeticky závislý pouze na jednom energonositeli – elektřině, jejíž spotřeba byla sledována od 1. 3. 2014 do 2. 3. 2015. Na všechny spotřebiče byly osazeny měřiče elektřiny, stejně jako byla použita podružná měřidla v rozvodné elektro skříni pro sledování spotřeby topných infrapanelů a varné desky. Skutečně naměřená roční spotřeba elektřiny domu dosahuje hodnoty 5 474,4 kWh, byla rozdělena do pěti základních skupin (vytápění, příprava TV, nucené větrání, spotřebiče, a osvětlení) a zaznamenávána každý měsíc.

Výstup je znázorněn na *Obr. 4.28*.

Z analýzy výsledků měření se získaly poznatky o celoročním provozu budovy. Výsledky slouží pro pochopení funkčnosti VZT systému, stavu a kvality vnitřního prostředí, energetické náročnosti a v neposlední řadě i jako vstupy pro simulační model a k jeho validaci.

5 SIMULACE A JEJICH POROVNÁNÍ S EXPERIMENTÁLNÍM MĚŘENÍM

5.1 Porovnání simulačních nástrojů

Jedním z předpokladů pro dosažení cílů této práce bylo provedení rešerše simulačních nástrojů a následně jejich srovnání z hlediska možností použití, viz. kapitola 2.5 *Metody výpočtu energetické náročnosti budov*.

Simulační nástroje, které se používají pro výpočty energetických náročností budov, se dají rozdělit do dvou hlavních skupit, a to podle užití kvazistacionárních, nebo dynamických metod.

Kvazistacionární metody počítají tepelnou bilanci během dostatečně dlouhého času (typický je jeden měsíc, nebo celý rok) a neumožňují zohlednit dynamické účinky ve výpočtu. Typickými představiteli jsou například nástroje Energie, NKN, PHPP, Protech, Stavební fyzika DEK atd. Jedná se o výpočetní nástroje, které vznikly primárně za účelem posouzení energetické náročnosti budovy. Funkční algoritmus obsažený v těchto programech plně respektuje požadavky evropské směrnice o energetické náročnosti budov a další národní předpisy a technické normy.

Oproti tomu dynamické metody počítají tepelnou bilanci s krátkými časovými kroky (typická je jedna hodina) a na základě fyzikálních dějů. Pro zachování dynamiky výpočtu vstupuje vždy výsledek jednoho kroku jako okrajová podmínka do následujícího kalkulačního kroku. K nejvyvinutějším nástrojům patří např.: BLAST, BSim, DesignBuilder, DOE-2, EnergyPlus, ESP-r, TRNSYS... Tyto nástroje modelování a simulování energetického chování budov z nejširšího spektra problémů. Dokážou řešit problematiku od tepelnětechnického chování budov přes modelování systémů technického zařízení budov až po komplexní model budovy. Z toho důvodu je tvorba modelu, jak i samotná doba výpočtu simulace, značně časově náročná a uživatelské prostředí je často méně uživatelsky přívětivé. Práce v těchto programech není zcela intuitivní.

Pro případ simulací v této práci zvoleny nástroje z obou skupin, konkrétně Energie 2015 LT a PHPP 8.5 z kvazistacionárních metod a TRNSYS 16 z metod dynamických.

5.2 Výpočet energetické náročnosti budovy pomocí nástroje PHPP 8.5

5.2.1 Materiál a metodika (Postup simulace)

Jak už bylo uvedeno dříve, výpočetní nástroj PHPP 8.5 (2013) je primárně určen pro posouzení energetické náročnosti pasivních domů k čemuž používá svůj vlastní nenormový metodický postup výpočtu, vycházející ze složitých dynamických simulací. PHPP je zpracován v tabulkovém editoru MS Excel, který je rozdělen do cca 35 záložek, které jsou spolu provázány a jsou přehledně uspořádány:

Tab. 5.1: PHPP 8.5 - Rozdělení záložek v PHPP 8.5 (2013)

Název listu	Funkce
Hodnocení	Data stavby; souhrn výsledků
Přehled	Přehled specifických údajů zadaného projektu
Klima	Výběr klimatické oblasti nebo zadání vlastních klimatických dat
U-hodnoty	Výpočet hodnot součinitele U standardních stavebních konstrukcí
Plochy	Soupis ploch
Zemina	Výpočet činitelů teplotní redukce vlivem zeminy
Prvky	Databáze stavebních prvků / konstrukcí
Okna	Určení U_w -hodnot
Zastínění	Určení stínících koeficientů
Větrání	Intenzita výměny vzduchu, bilance přívodu/odvodu vzduchu, zadání výsledku zkoušky neprůvzdušnosti
Větrání Další	Návrh VZT systémů s několika větracími jednotkami
VytSezonní	Roční potřeba tepla na vytápění / sezónní metoda
Vytápění	Výpočet potřeby tepla na vytápění Měsíční metoda podle EN 13790
Tepelný výkon	Výpočet tepelného výkonu budovy
Větrání-L	Stanovení letního větrání
Léto	Odhad letního klimatu
Chlazení	Měsíční metoda pro stanovení potřeby chladu
Chladicí jednotky	Latentní chladicí energie
Chladicí výkon	Výpočet chladicího výkonu budovy
TV+rozvody	Ztráty na rozvodech; potřeba TV a ztráty
TV-solár	Příprava TV solárním systémem
Fotovoltaika	Výroba elektřiny fotovoltaickým systémem
Elektřina	Potřeba elektřiny pro obytné budovy
Užití Nebyt	Profily užívání - nebytové objekty
Elektřina Nebyt	Potřeba elektřiny pro nebytové budovy
Elektřina pom.	Potřeba pomocné elektřiny

Zisky	Vnitřní tepelné zisky - obytné budovy
Zisky Nebyt	Vnitřní tepelné zisky - nebytové objekty
PrimárníE	Charakteristické hodnoty primární energie a CO ₂
Kompakt	Účinnost zdroje tepla - kompaktní jednotka
TČ	Účinnost zdroje tepla - tepelné čerpadlo
TČ země	Zemní vrt nebo zemní kolektor v kombinaci s tepelným čerpadlem
Kotel	Účinnost zdroje tepla - kotel
CZT	Předávací stanice CZT
Data	Databáze

Na každém listu je zřejmé, které buňky se mají vyplnit, a které jsou již vypočteny. Při vyplňování buněk je použita pomocná funkce (nápověda), realizovaná pomocí komentářů, ty slouží k usnadnění zadání vstupních dat, informují o tom, co přesně je třeba vložit, a poskytují výběr typických hodnot. Bližší popis se pak nachází v návodu. Celý soubor je uzamčen, aby se omylem při zadávání a kopírování hodnot nezměnily vložené vzorce. Heslo pro uzamčení není požito, takže lze software modifikovat, přidávat záložky a upravovat. Ovšem tento postup korekce si může dovolit pouze zkušený odborník, aby nedošlo ke špatným a zkresleným výsledkům.

Ve výpočtu bylo mimo jiné uvažováno s klimatickými daty:

- a) Nejbližší možné nabízené lokality v **integrované knihovně klimadat**, která je **Brno-venkov**. Do nástroje PHPP 8.5 byla pro české podmínky implementována nová klimatická data, vycházejí z hodnot 40 letého průměru (1971 – 2010), která zpracoval v roce 2012 Český hydrometeorologický ústav. Data jsou zpracována v měsíčním kroku;
- b) **Skutečně naměřenými klimatickými daty** v **Rapoticích**, která mají nahrazena výpadky měření daty z RKR pro Rapotice.

Dále je celý dům uvažován jako jedna zóna s vnitřní teplotou 20 °C v zimě a 25 °C v létě, Energeticky vztažnou plochou 139,3 m² (výpočet dle pokynů PHPP), byly vypočteny plochy a součinitele prostupu tepla jednotlivých obalových konstrukcí (zanedbávají se vnitřní konstrukce), byly vypočteny lineární tepelné mosty (tepelné vazby) a mnoho dalšího. Pro výpočet potřeby tepla na vytápění byla zvolena měsíční

metoda, která má oproti sezónní metodě vždy vyšší přesnost. Nastavení výpočtového modelu je detailněji specifikováno v Tab. 5.2.

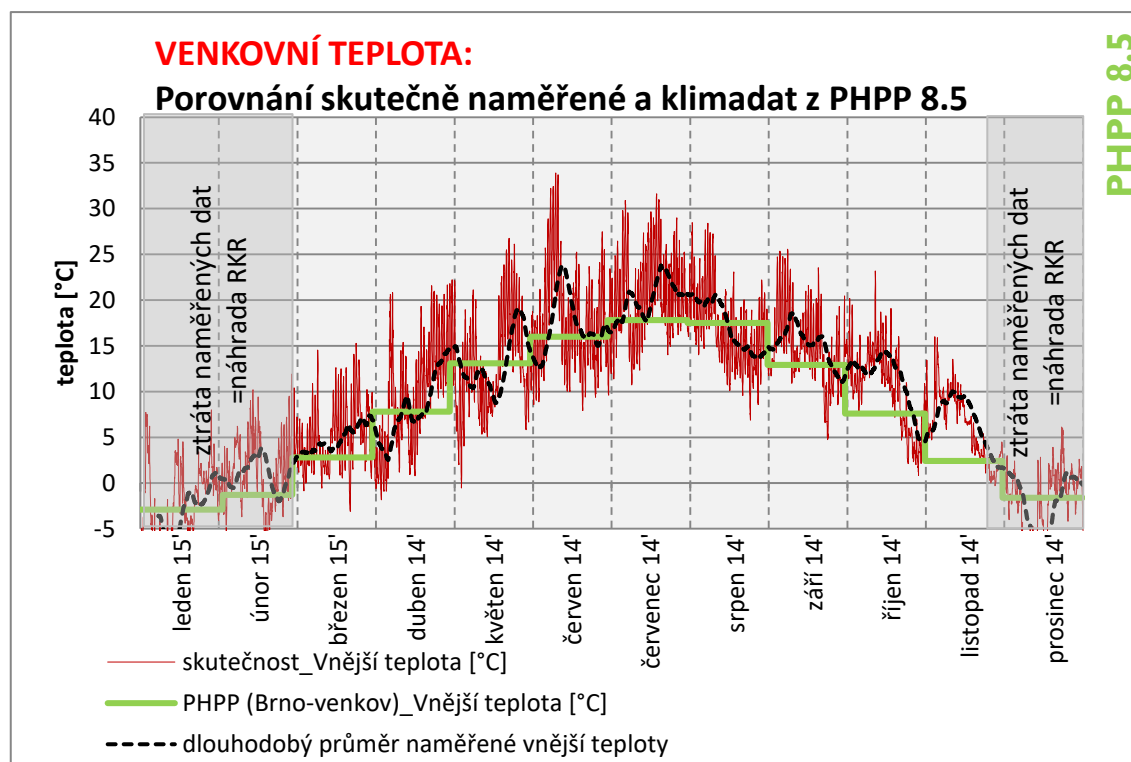
Tab. 5.2: PHPP 8.5 (Brno-venkov) - Vstupní hodnoty do výpočtu PHPP

	ozn.	charakteristika	hodnota	jednotka	poznámka
KLIMADATA		klimatická data	CZ-Brno-venkov Skutečná klimadata		klimatická data pro českou verzi nástroje od Centra pasivního domu
		nadmořská výška objektu	493	[m n. m.]	liší se od nadmořské výšky meteorologické stanice klimatických dat (318 m n. m.)
	D_t	denostupně	93	[kKh·a ⁻¹]	
ZÁKLADNÍ ÚDAJE		počet osob	2	[ks]	objekt je užívaný 2 osobami
	EVP	Energeticky vztažná plocha	139,27	[m ²]	dle pokynů PHPP
	V	obestavěný objem	635,4	[m ³]	vnější objem stavby
	h	světlná výška místností	2,5	[m]	výpočtová výška prostoru
	c	Měrná kapacita	204	[Wh·K ⁻¹ ·m ⁻²]	měrná tepelná kapacita konstrukcí
	θ_{iz}	vnitřní návrhová teplota - zima	20	[°C]	Výpočtová teplota pro vytápění
	θ_{il}	vnitřní návrhová teplota - léto	25	[°C]	Výpočtová teplota pro chlazení
		orientace stavby	JIH - 15°	[°]	základní orientace je od jihu odkloněna o 15° (azimut 165°)
KONSTRUKCE	$U_{stěna}$	součinitel prostupu tepla stěnou	0,097	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	plocha konstrukce 229,30 m ²
	$U_{střecha}$	součinitel prostupu tepla stěnou	0,107	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	plocha konstrukce 98,27 m ²
	$U_{podlaha}$	součinitel prostupu tepla stěnou	0,159	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	plocha konstrukce 97,75 m ²
	ψ_r	lineární tepelný most u rohu budovy	-0,052	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	"záporný" tepelný most (dle výpočtu)
	ψ_r	lineární tepelný most u stěna/střecha 1	-0,04	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	"záporný" tepelný most (dle výpočtu)
	ψ_r	lineární tepelný most u stěna/střecha 2	-0,051	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	"záporný" tepelný most (dle výpočtu)
	ψ_r	lineární tepelný most u věnce	0,003	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	"záporný" tepelný most (dle výpočtu)
	ψ_r	lineární tepelný most I-profilů	0,004	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	"záporný" tepelný most (dle výpočtu)
	ψ_r	lineární tepelný most u soklu	-0,02	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	"záporný" tepelný most (dle výpočtu)
VÝPLNĚ OTVORŮ	U_g	součinitel prostupu tepla zasklením	0,58	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	trojsklo-4/16/4/16/4
	g	součinitel propustnosti slunečního záření	0,66	[-]	skrze sklo přejde 66% záření
	U_f	součinitel prostupu tepla rámu okna	0,93	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	dřevohliník
	ψ_g	lineární tepelný most okraje skla	0,034	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	"teplý" distanční rámeček
	ψ_f	lineární tepelný most osazení okna	0,02	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	kvalitní detail ukotvení s přeizolováním
		šířka rámu	0,119	[m]	šířka rámu okna
		hloubka ostění a nadpraží	0,25	[m]	hloubka ostění a nadpraží
		zastínění léto JIH - pergolou	1,5 ; 0,52	[m]	1,5 m přesah pergoly a 0,52 m nad oknem
		clonění léto - vnější žaluzie	50	[%]	vnější žaluzie zabrání 50% záření v létě
	U_o	součinitel prostupu dveří	0,54	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	
VĚTRÁNÍ	n_{50}	součinitel vzduchotěsnosti	0,44	[h ⁻¹]	proveden Blower-door test 50Pa
	V_{n50}	čistý objem vzduchu pro zkoušku	348	[m ³]	pro výpočet infiltrace

	typ větracího systému	rovnotlaké		rovnotlaké větrání
e	součinitel větrné expozice	0,1	[-]	bez ochrany
f	součinitel počtu vystavených stran	15	[-]	působení na více stran
η_{ZZT}	účinnost rekuperační jednotky	76	[%]	dle PHPP snížena udávaná účinnost (88 %) o 12 %
η_{ZVT}	účinnost zemního výměníku tepla	21	[%]	Vypočteno dle PHLuft

5.2.2 Užití přesnějších (naměřených) klimatických dat

Jak již bylo zmíněno, tak jedním z hlavních vstupů simulace jsou klimatická data. V prvním případě byla z integrované knihovny klimadat vybrána nejbližší možná lokalita **Brno-venkov**. Data jsou zpracována v měsíčním kroku a na *Obr. 5.1* a jsou porovnávána se **skutečně naměřenými daty** v **Rapoticích** z let 2014 a 2015.

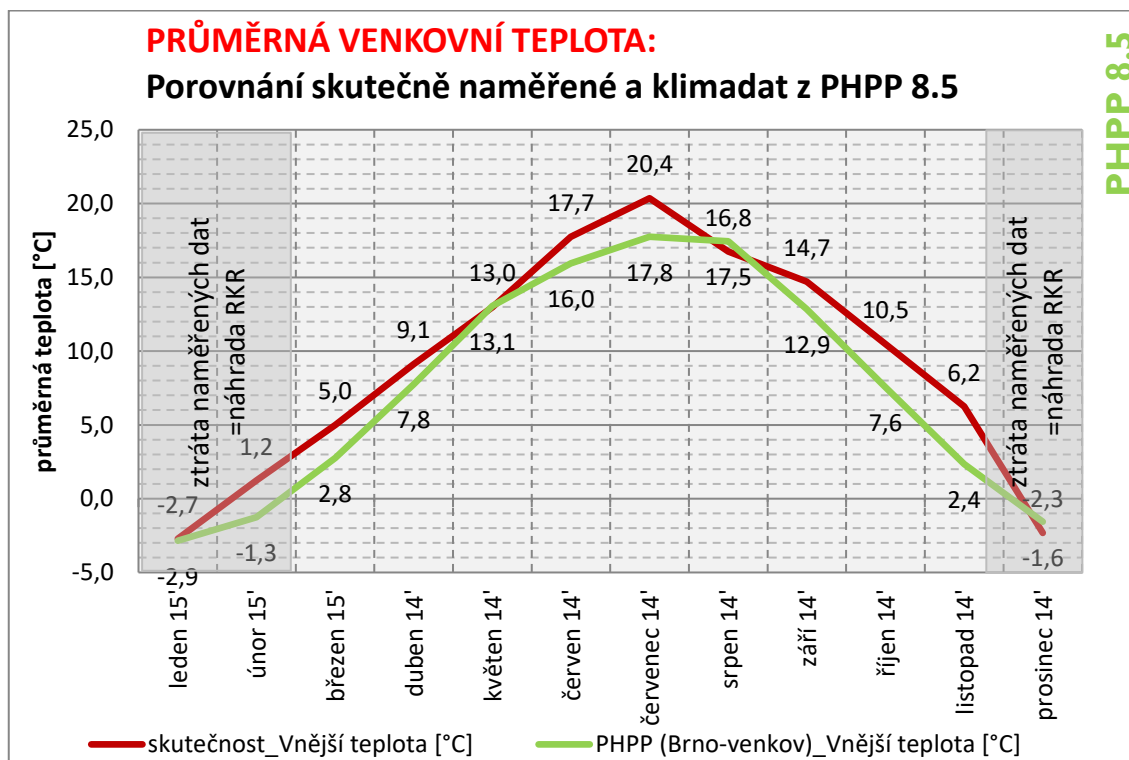


Obr. 5.1: PHPP 8.5 - Porovnání skutečně naměřené venkovní teploty v Rapoticích a teploty klimatických dat vstupujících do PHPP pro Brno-venkov

V předchozím grafu (*Obr. 5.21*) jsou skutečně naměřená data složena z let 2014 a 2015 tak, aby ve svém rozsahu tvořily celý kalendářní rok od ledna do prosince. Do tohoto intervalu zasahuje výpadek měřicího zařízení a s tím spojená ztráta dat za leden až únor a dále pak od 25. listopadu do konce roku. Tyto nezaznamenané intervaly byly nahrazeny údaji z Referenčního klimatického roku (RKR) (dle požadavku normy ČSN EN ISO 15927-4), který byl zakoupen od ČHMÚ pro konkrétní danou lokalitu

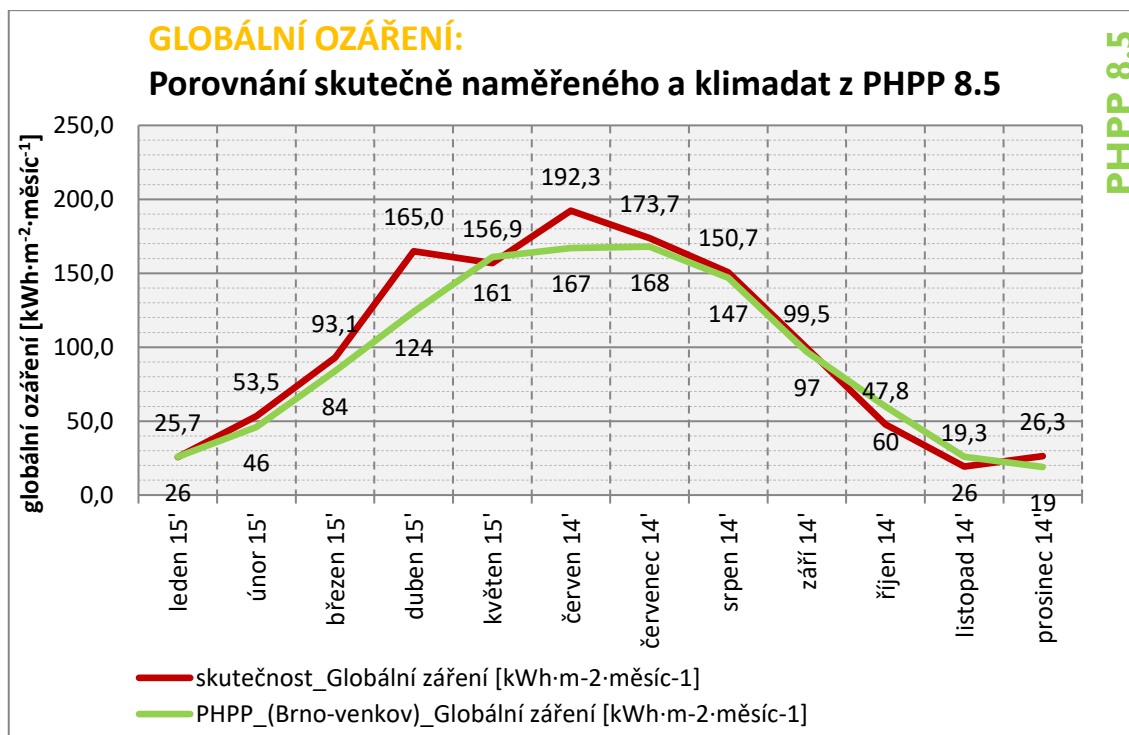
(Rapotice). Složení těchto dat pak tvoří ucelenou sadu, která je v tomto grafu porovnána s měsíčními průměrnými teplotami venkovního vzduchu, které vstupují do výpočtu PHPP (pro lokalitu Brno-venkov, která je z programem nabízených klimadat tou nejbližší možnou).

Následně je z průměrných měsíčních hodnot (Obr. 5.2) patrné, že skutečně naměřené teploty vnějšího vzduchu jsou v převážné většině roku vyšší než teploty vstupující do výpočtu PHPP (Brno-venkov). Průměr skutečně naměřených teplot venkovního vzduchu za celý rok je 9,1 °C a klimadat v PHPP 8.5 je 7,7 °C, z čehož by se dalo usoudit, že výpočet v PHPP 8.5 je v tomto ohledu (potřeba tepla na vytápění) na stranu bezpečnou.



Obr. 5.2: PHPP 8.5 - Porovnání průměrných měsíčních skutečně naměřených venkovních teplot v Rapoticích a teplot klimadat vstupujících do PHPP 8.5(Brno-venkov)

Další významnou složkou klimatických dat je sluneční ozáření. Na Obr. 5.3 jsou skutečně naměřená data globálního ozáření na vodorovnou plochu složena z let 2014 a 2015 tak, aby ve svém rozsahu tvořili celý kalendářní rok od ledna do prosince, a jsou spočítány jejich měsíční hodnoty. Ty jsou porovnány s globálním ozářením, které vstupuje do výpočtu PHPP (Brno-venkov).



Obr. 5.3: PHPP 8.5 - Porovnání skutečně naměřených měsíčních dávek globálního ozáření v Rapotících a dávek z klimadat vstupujících do PHPP 8.5(Brno-venkov)

Ze zobrazení v předchozím grafu (Obr. 5.3) je zřejmé, že skutečně naměřená dávka slunečního ozáření je v převážné většině roku vyšší, než hodnoty z klimadat vstupujících do výpočtu PHPP (Brno-venkov). Což potvrzují i spočítané průměry za celý rok, kdy skutečně naměřená dávka slunečního ozáření na vodorovnou plochu má průměrnou měsíční hodnotu $100,3 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{měsíc}^{-1}$ a klimadata z PHPP 8.5 (Brno-venkov) mají $93,8 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{měsíc}^{-1}$. Toto zjištění má na výsledek výpočtu pozitivní i negativní vliv. Nižší výpočtové dávky slunečního ozáření znamenají nižší solární zisky, pomocí kterých je vypočítána vyšší potřeba tepla na vytápění (výpočet je na stranu bezpečnou). Opačný efekt mají vyšší solární zisky v letním období z důvodu přehřívání interiéru.

5.2.3 Výsledky

Výpočet pomocí PHPP je v zásadě dostatečný pro vyhodnocení a optimalizaci pasivního domu s ohledem na potřebu tepla na vytápění a dosahovaný energetický ukazatel (primární energie). Tyto hodnoty jsou základními výstupy programu, které jsou přehledně vypsány na hodnotícím formuláři, dále je v jiných listech vyčíslena např. potřeba TV, elektřiny, tepelné ztráty, solární zisky a další. Díky užití tabulkového procesoru jsou výsledky zobrazovány v patřičných buňkách okamžitě. Na Obr. 5.4 je

zobrazen hodnotící list výpočtu PHPP 8.5 (2013) se základními výstupy, z nichž za nejdůležitější je považována měrná potřeba tepla na vytápění, která nesmí podle Passivhaus Institutem překročit $15 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, aby byla budova hodnocena jako pasivní dům.

Ukazatele budovy vztažené k energeticky vztažené podlahové ploše a na rok					
Energeticky vztažená plocha		139,3	m ²	Požadavky	Splněno?*
Vytápění	Potřeba tepla na vytápění	16	kWh/(m ² a)	15 kWh/(m ² a)	ne
	Tepelný výkon	17	W/m ²	10 W/m ²	ne
Chlazení	Celková měrná potřeba chladu		kWh/(m ² a)	-	-
	Chladicí výkon		W/m ²	-	-
	Četnost překročení nejvyšší teploty vzduchu (> 25 °C)	0,0	%	-	-
Primární energie	Vytápění, chlazení, pomocná elektřina	104	kWh/(m ² a)	120 kWh/(m ² a)	ano
	Odvlhčeni, TV, světlo, elektr. Zařízení	81	kWh/(m ² a)	-	-
	TV, vytápění a pomocná elektřina		kWh/(m ² a)	-	-
Úspora prim. energie díky solární elektřině			kWh/(m ² a)	-	-
Neprůvzdušnost	vzduchu n ₅₀ při zkoušce neprůvzdušnosti	0,4	1/h	0,6 1/h	ano

* prázdné pole: chybí údaj; "-": bez požadavku

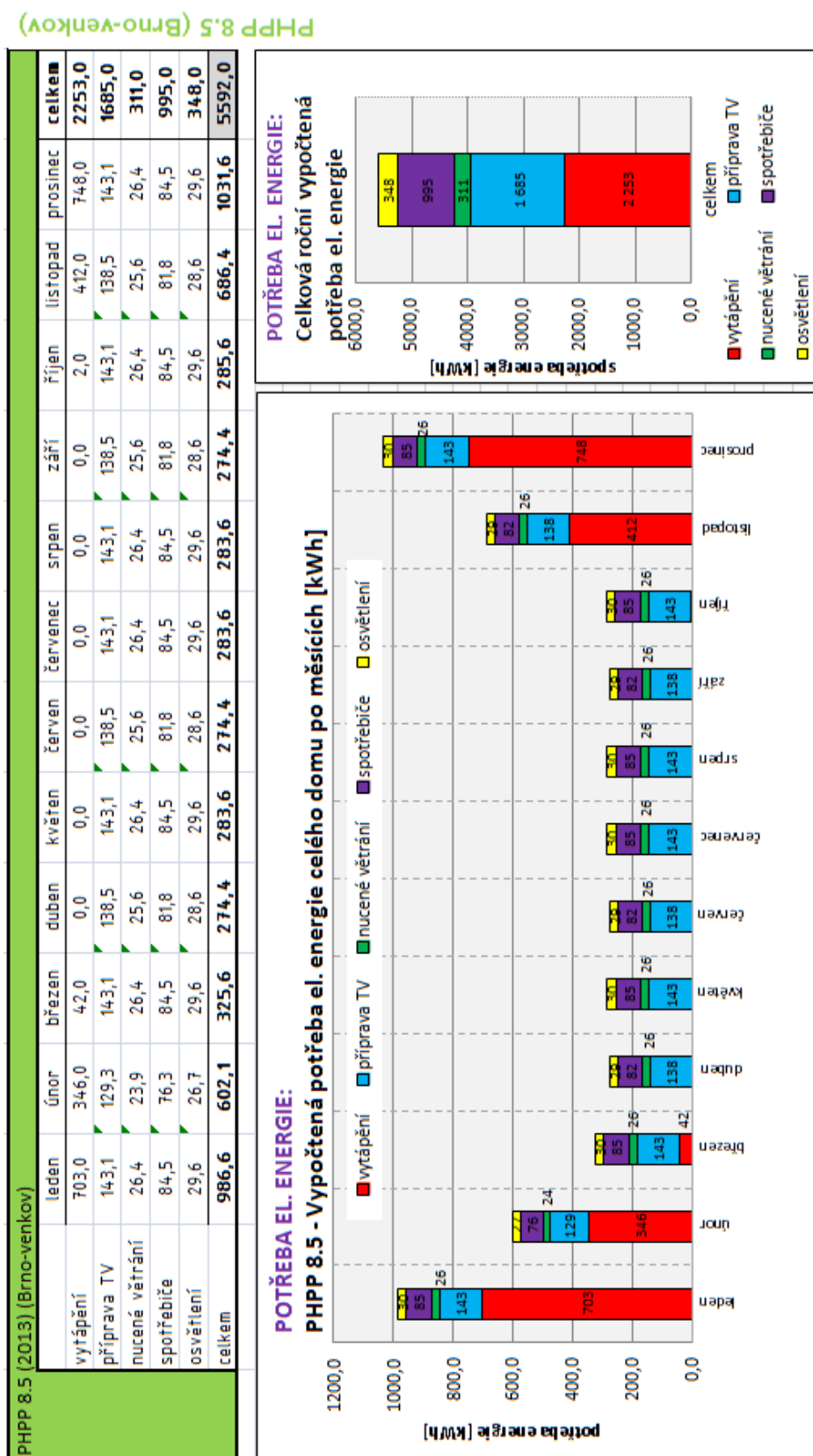
Obr. 5.4: PHPP 8.5 (Brno-venkov) – Ukázka výstupní tabulky v PHPP 8.5 (2013)

Tato hodnota ale může být zavádějící, protože je vztažena na plochu, v jejíž stanovení jsou v různých metodikách zásadní rozdíly. V PHPP je energeticky vztažená plocha pouze podlahová plocha, která se nachází uvnitř tepelné obálky. Do této plochy se tedy nezapočítávají zdi, příčky, komíny, schodiště apod. Zatímco dle vyhl. MPO č. 78/2013 Sb. se jedná o tzv. „Energeticky vztažnou plochu“, která je počítána z vnějších rozměrů objektu. Tyto odlišnosti představují zásadní rozdíl ve výsledcích vztažených na měrnou jednotku, proto jsou v této práci srovnávány hodnoty pro celý dům.

Vypočtená potřeba tepla na vytápění (pomocí měsíční metody) pro lokalitu Brno-venkov, dosahuje celkové roční hodnoty $2253 \text{ kWh}\cdot\text{a}^{-1}$. Potřeba je rozdělena do měsíců listopad až začátek března a zbylou část roku pokrývají solární a vnitřní tepelné zisky.

Na Obr. 5.5 je vyhodnocena v PHPP vypočtená roční spotřeba elektřiny domu pro Brno-venkov, která dosahuje hodnoty 5592 kWh . Nejvyšší podíl (40,3 %) na spotřebě domu má vytápění (2253 kWh), které je v provozu od listopadu do začátku března a zbylou část roku jsou pokryty energetické nároky domu solárními a vnitřními zisky. Za vytápěním následuje příprava teplé vody ($1685 \text{ kWh} = 30,1 \%$), spotřebiče ($995 \text{ kWh} = 17,8\%$), osvětlení ($348 \text{ kWh} = 6,2 \%$) a nucené větrání ($311 \text{ kWh} = 5,6 \%$). Jelikož jsou tyto hodnoty v programu pouze celkové za celý rok (kromě vytápění, které

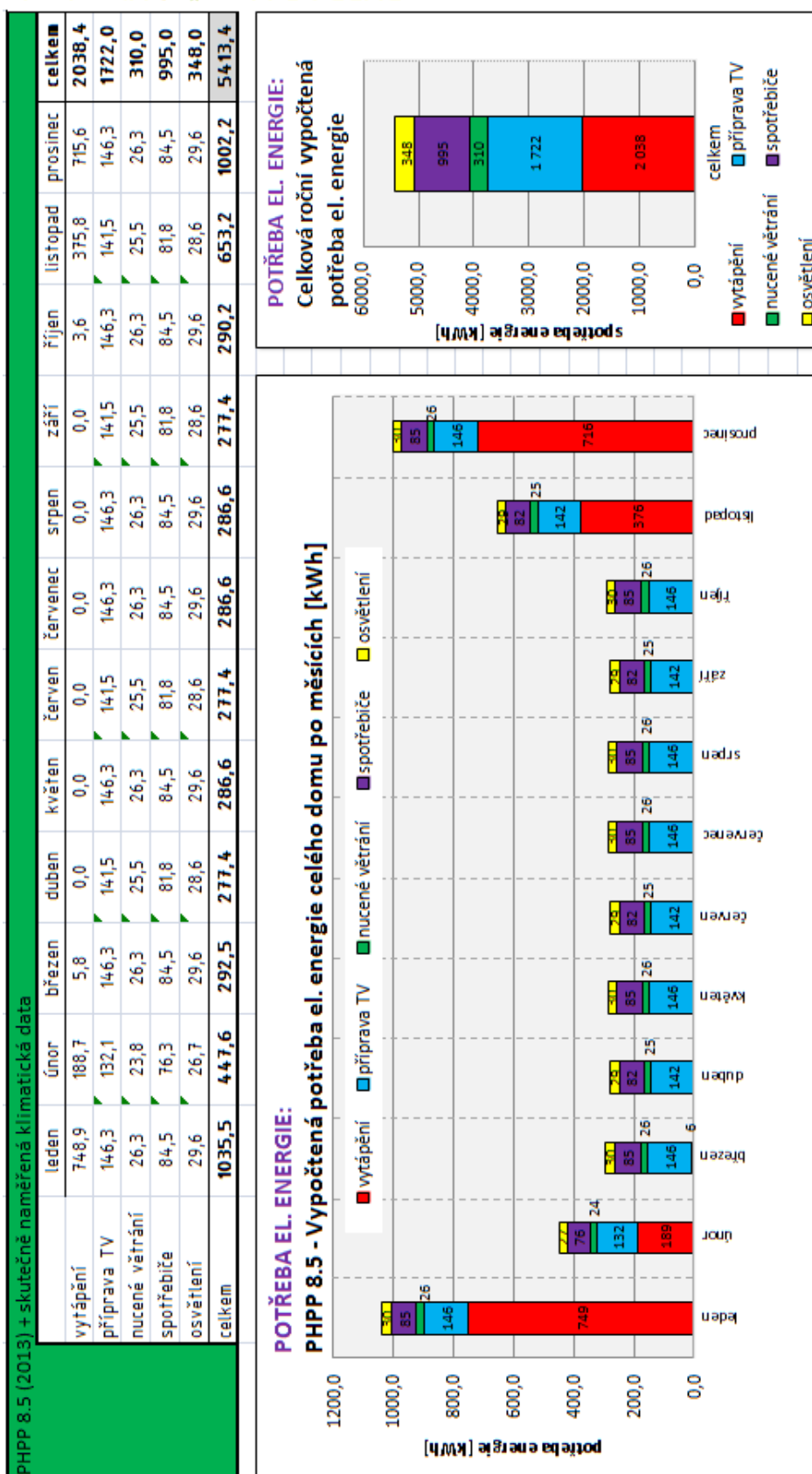
je počítáno pro jednotlivé měsíce), musely být pro porovnání poměrově rozděleny podle počtu dní v měsíci.



Obr. 5.5: PHPP 8.5 (Brno-venkov) - Vypočtená spotřeba elektřiny celého domu

Po částečné eliminaci vnesené chyby do výpočtu nepřesnými klimatickými daty, která jsou v další fázi nahrazena **skutečně naměřenými údaji** vnější teploty, rosného bodu a slunečního ozáření, je výsledek výpočtu na *Obr. 5.6*. Celková vypočtená roční spotřeba elektřiny domu dosahuje hodnoty 5 413 kWh, což je hodnota, která je ještě bližší skutečnosti. Potvrdil se tím předpoklad eliminace vnesené chyby klimatickými daty. Nejvyšší podíl na celkové energetické potřebě domu má opět vytápění (2038 kWh = 37,7 %), které zůstalo shodně v provozu od listopadu do začátku března. Za vytápěním následuje příprava teplé vody (1 722 kWh = 31,8 %), spotřebiče (995 kWh = 18,4 %), osvětlení 348 kWh = 6,4 %) a nucené větrání (311 kWh = 5,7 %).

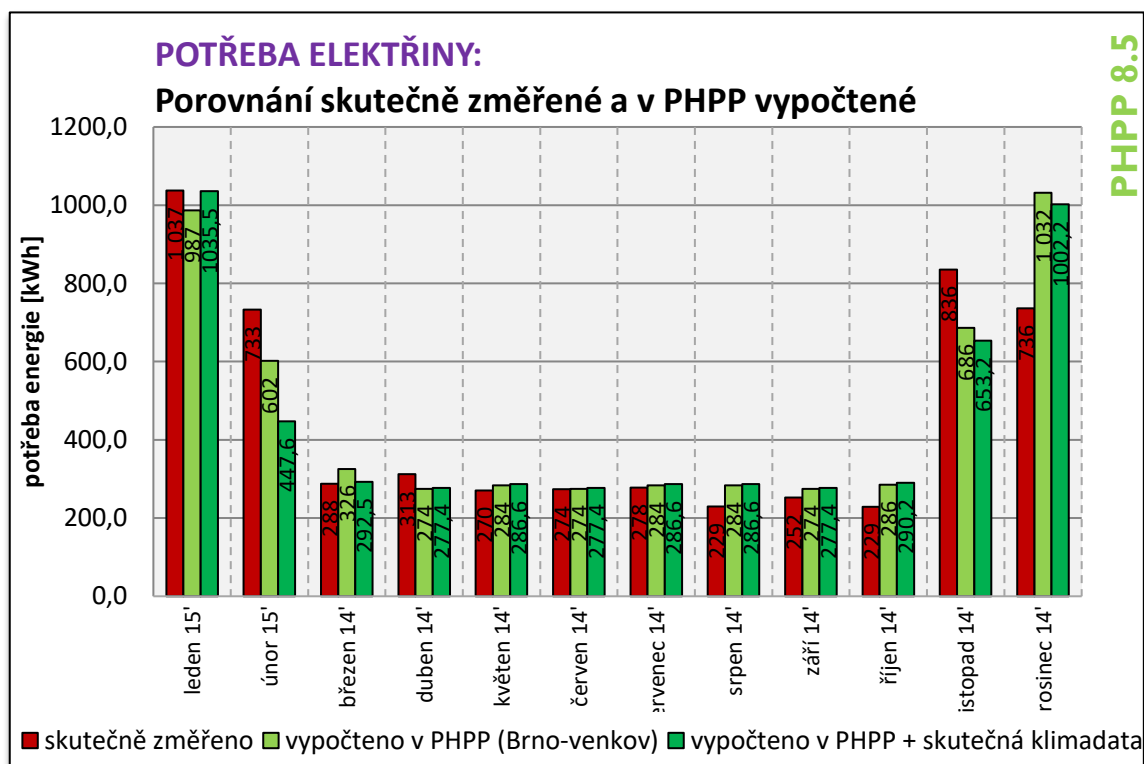
PHPP 8.5 (skutečná klimadata)



Obr. 5.6: PHPP 8.5 (skutečná klimadata) - Vypočtená spotřeba elektriny celého domu

5.2.4 Porovnání a rozbor

Na Obr. 5.7 jsou porovnávána **skutečně naměřená měsíční data** s výsledkem výpočtu v PHPP 8.5 s v programu nabízenou nejbližší lokalitou (**Brno-venkov**) a s výsledkem výpočtu v PHPP 8.5, do kterého byla zanesena **skutečně naměřená klimatická data**. Konkrétně jde o celkovou energetickou náročnost, kdy jsou porovnané měsíční skutečné spotřeby elektřiny celého domu s potřebami vypočtenými v nástroji PHPP 8.5. Z výsledků v grafu je patrné, že až na drobné výjimky (únor, listopad a prosinec), vykazují celkové naměřené a vypočtené spotřeby domu v jednotlivých měsících velmi dobrou shodu.



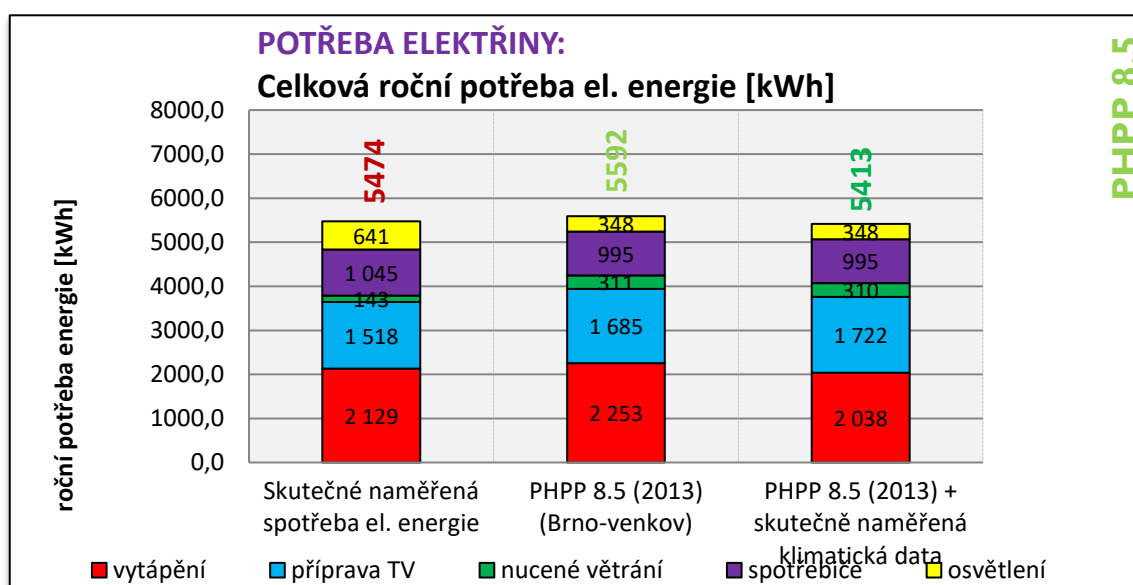
Obr. 5.7: PHPP 8.5 - Porovnání skutečně změřené spotřeby elektřiny celého domu v Rapoticích a výsledku výpočtu v nástroji PHPP 8.5(Brno-venkov)

Stejně tak je na Obr. 5.8 porovnána celková roční spotřeba elektřiny domu, která je rozdělena do již zmiňovaných pěti základních skupin a ve výsledku se liší od skutečně naměřených hodnot o pouhých 117,6 kWh = 2,1 % pro data **Brno-venkov**, respektive 61 kWh = 1,1% po vložení **skutečně naměřených klimatických dat**.

U jednotlivých skupin jsou rozdíly následující:

Tab. 5.3: PHPP 8.5 - Rozdíly mezi skutečně naměřenými daty a výpočtem PHPP

	skutečně změřeno [kWh]	vypočteno v PHPP 8.5 (Brno- venkov) [kWh]	rozdíl [kWh]	procentní rozdíl	vypočteno v PHPP 8.5 (skutečná klimadata) [kWh]	rozdíl [kWh]	procentní rozdíl
vytápění	2 128,5	2 253,0	124,5	5,8 %	2 038,4	-90,1	-4,2 %
příprava TV	1 517,6	1 685,0	167,4	11,0 %	1 722,0	204,4	13,5 %
nucené větrání	142,6	311,0	168,4	118,1 %	310,0	167,4	117,4 %
spotřebiče	1 044,9	995,0	-49,9	-4,8 %	995,0	-49,9	-4,8 %
osvětlení	640,7	348,0	-292,7	-45,7 %	348,0	-292,7	-45,7 %
celkem	5 474,4	5 592,0	117,6	2,1 %	5 413,4	-61,0	-1,1 %



Obr. 5.8: PHPP 8.5 - Porovnání celkové změřené roční spotřeby elektřiny domu v Rapoticích s výpočtem v PHPP (rozdělení do 5 hlavních kategorií)

Pro nucené větrání, pro které je rozhodující požadovaný objem odtahovaného vzduchu, který je závislý na počtu a typu místností (zdrojů vlhka), je patrný rozdíl mezi skutečně naměřenými (základ pro procentuální vyjádření) a vypočtenými hodnotami 168,4 kWh = 118,1 %, respektive 167,4 kWh = 117,4 %. Potřebnou kubaturu větraného vzduchu a z toho vyplývající intenzitu větrání, určí nástroj po zadání sám. Počítá tedy s minimální hodnotou 0,3 h⁻¹, což ve skutečnosti není dodrženo a VZT větrá s nižší intenzitou.

Další významná odchylka se projevila u osvětlení, kdy metodika předpokládá s normovou potřebou 60 W a četností 2,9 kh·osobu⁻¹·rok⁻¹, což je zřejmě pro tento případ užití budovy nedostatečné.

5.2.5 Dílčí závěr

Výpočet energetické náročnosti budovy v PHPP 8.5 s nabízenými klimadaty dává příznivý výsledek (rozdíl 2,1 % oproti skutečně naměřenému), který se po zanesení skutečně naměřených klimatických podmínek ještě více přiblížil reálně naměřené celkové spotřebě elektřiny, od které se liší jen minimálně (v daném případě o 1,1 %). Velmi dobrá shoda panuje i pro spotřeby v jednotlivých kategoriích v každém měsíci.

Tento výpočet je pro daný účel porovnání celoroční energetické náročnosti budovy dostatečný. Uživatelské prostředí nástroje je zpracováno v obecně známém excelovském prostředí. Spolu související hodnoty jsou soustředěny do jednotlivých listů, což zvyšuje celkovou přehlednost. Ke každému parametru je dostupný podrobný komentář.

5.3 Výpočet energetické náročnosti budovy pomocí softwaru ENERGIE 2015 LT

5.3.1 Materiál a metodika (Postup simulace)

Pro výpočet je použita bezplatná, funkčně omezená verze LT. Tato verze má určitá kapacitní omezení oproti plné verzi programu, nicméně tyto se nedotknou hodnoceného domu, a proto je tato verze plně dostačující. Na rozdíl od programu PHPP běžícím v tabulkovém editoru MS Excel, funguje Energie jako samostatný program.

Veškeré parametry budovy jsou identické s předchozí kapitolou (5.2: *Výpočet energetické náročnosti budovy pomocí nástroje PHPP 8.5*) a výpočet v tomto programu je podstatně zjednodušen tím, že veškerá optimalizace a dodatečné výpočty byly již provedeny.

Program ENERGIE funguje na principu kaskádovitém zobrazování oken, kde se zadávají patřičné údaje. Každá buňka má kontextově citlivou nápovědu, která je výkonným nástrojem umožňujícím nalézt okamžitě informace k prováděné činnosti. Po založení nové úlohy je potřeba zadat vstupní data do výpočtu, ve kterém bylo uvažováno s klimatickými daty:

- a) Nejbližší nabízené lokality v [integrovaném katalogu teplot a sluneční energie](#), která je [Brno](#). Jsou tu použita klimatická data z ČSN 730540-3:2005 a ČSN EN 12831:2005. Průměrné měsíční exteriérové teploty ve smyslu ČSN EN ISO 13788:2013 jsou v tomto softwaru převzaty

z publikace „*Normály teploty vzduchu na území ČR v období 1961-1990 a vybrané teplotní charakteristiky období 1961-2000*“ [61]. Výpočet tedy pracuje s měsíčním krokem a pro tento krok průměrnými exteriérovými teplotami, získanými na základě 30 letého měření na 145 meteorologických stanicích v celé ČR;

- b) **Skutečně naměřenými klimatickými daty** v **Rapoticích**, která mají nahrazena výpadky měření daty z RKR pro Rapotice.

Dalšími vstupními údaji byla např. zvolená měsíční metoda pro komplexní hodnocení energetické náročnosti budov podle vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 Sb., určení jedné teplotní zóny, vnitřní teploty 20 °C, určení obsazenosti 78,8 m²/os (takto volená hodnota je z toho důvodu, aby výpočet potřeby TV reflektoval na skutečnost, že objekt je využíván pouze 2 osobami), hmotové parametry objektu (např. energeticky vztažná plocha stanovená z vnějších rozměrů = 195,5 m², což je odlišný postup od PHPP), vnitřní zisky a osvětlení (započítání spotřebičů i do spotřeby elektřiny, a ne pouze na straně tepelných zisků), větrání zóny se skutečně naměřenou hodnotou výměny vzduchu 55,5 m³·h⁻¹ (ta představuje intenzitu výměny vzduchu 0,15 h⁻¹, což je nízká intenzita, nicméně takto je VZT ve skutečnosti provozována), zdroje tepla (sálavé elektrické panely), příprava teplé vody (35 l·osobu⁻¹·den⁻¹), plochy a součinitele prostupu tepla jednotlivých obalových konstrukcí, vypočtené lineární tepelné mosty (tepelné vazby) a mnoho dalšího. Podrobnější popis zadávaných parametrů je v *Tab. 5.4* a v protokolu o výpočtu, viz. *Příloha č. 5: ENERGIE 2015 LT - Výpočet energetické náročnosti budovy*

Tab. 5.4: ENERGIE 2015 LT (Brno) - Vstupní hodnoty do výpočtu ENERGIE

	ozn.	charakteristika	hodnota	jednotka	poznámka
KLIMADATA		katalog teplot	Brno Skutečná klimadata		nejbližší lokalita z katalogu
		katalog sluneční energie	Brno Skutečná klimadata		nejbližší lokalita z katalogu
		nadmořská výška objektu	493	[m n. m.]	liší se od průměrné výšky klimatické lokality (227 m n. m.)
ZÁKLADNÍ ÚDAJE		typ výpočtu	měsíční		měsíční pro komplexní hodnocení energetické náročnosti budov dle vyhl. MPO ČR č. 78/2013 Sb.
	θ _i	návrhová vnitřní teplota	20	[°C]	Výpočtová teplota pro vytápění
	θ _{iu}	návrhová vnitřní teplota pro stanovení U _{em}	20	[°C]	Pro stanovení U _{em,R} a U _{em,N}
		obsazenost	78,8	[m ² ·osoba ⁻¹]	objekt je užíván 2 osobami (157,5 m ² / 2 os.)

	V	celkový obestavěný objem	635,4	[m ³]	vnější objem stavby
		objem vzduchu v zóně	58,86	[%]	41,14 % tvoří konstrukce
	EVP	celková energeticky vztažná plocha z vnějších rozměrů	195,5	[m ²]	dle zákona č. 318/2012 Sb.
	S_p	celková podlahová plocha z vnitřních rozměrů	157,5	[m ²]	bez plochy obalových konstrukcí, ale včetně plochy vnitřních konstrukcí
	c	vnitřní tepelná kapacita zóny	27,6	[MJ·K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita konstrukcí
	θ_i	návrhová vnitřní teplota	20	[°C]	výpočtová teplota pro vytápění
	θ_{iu}	návrhová vnitřní teplota pro stanovení U _{em}	20	[°C]	pro stanovení U _{em,R} a U _{em,N}
VNITŘNÍ ZISKY A OSVĚTLENÍ		přítomnost osob	70	[%]	osoby jsou přítomny v zóně 70 % času - typická hodnota pro RD
		produkce tepla osobami	1,5	[W·m ⁻²]	typická hodnota pro RD
		spotřebiče v zóně jsou zapnuté	20	[%]	spotřebiče v zóně jsou zapnuté 20 % času - typická hodnota pro RD
		produkce tepla spotřebiči	3	[W·m ⁻²]	typická hodnota pro RD
		zohlednění spotřeby spotřebičů	započítat i provoz spotřebičů		započítá se do energetické bilance budovy i elektřina potřebná na provoz spotřebičů
		min. přípustná osvětlenost v zóně	50	[lx]	typická hodnota pro obytné budovy: celkové nebo odstupňované osvětlení obytné místnosti s místním osvětlením
		způsob ovládání osvětlení	ruční		
		Uživatel o energetické náročnosti osvětlení	Rozhoduje, ale nelze odhadnout výslednou dodanou energii		Ve výpočtu se vychází z průměrného měrného příkonu pro osvětlení 0,05 W·m ⁻² ·lx ⁻¹ a průměrné účinnosti osvětlení 20%
VĚTRÁNÍ	V_{vent}	objem přiváděného a odváděného vzduchu	55,5	[m ³ ·h ⁻¹]	skutečné změřená hodnota při provozu
		procento času s nuceným větráním	100	[%]	VZT systém je provozován 100 % času
	η_{zzt}	účinnost rekuperační jednotky	75	[%]	křížový deskový výměník, objemový průtok vzduchu do 5000 m ³ ·h ⁻¹ (oproti udávané účinnosti sníženo o 12,5 %)
	n₅₀	součinitel vzduchotěsnosti	0,44	[h ⁻¹]	proveden Blower-door test 50Pa
	V_{n50}	čistý objem vzduchu pro zkoušku	348	[m ³]	pro výpočet infiltrace
	e	součinitel větrné expozice	0,1	[-]	bez ochrany
	f	součinitel počtu vystavených stran	15	[-]	působení na více stran
		typ větracího systému	rovnotlaké		rovnotlaké větrání (2 ventilátory)
		Průměrný měrný příkon ventilátorů VZT jednotky	1620	[Ws·m ⁻³]	malá větrací jednotka s EC motorem, bez ohřívače nebo chladiče, objemový průtok vzduchu 200m ³ ·h ⁻¹
VYTÁPĚNÍ		váhový činitel redukce ventilátorů	0,7	[-]	
	η_{vyt}	účinnost výroby energie	100	[%]	běžné hodnoty pro přímé elektrické vytápění (sálavé panely)
	η_{sdílení}	účinnost sdílení tepla	96	[%]	běžné hodnoty pro elektrické sálavé panely s PI/PID-regulací

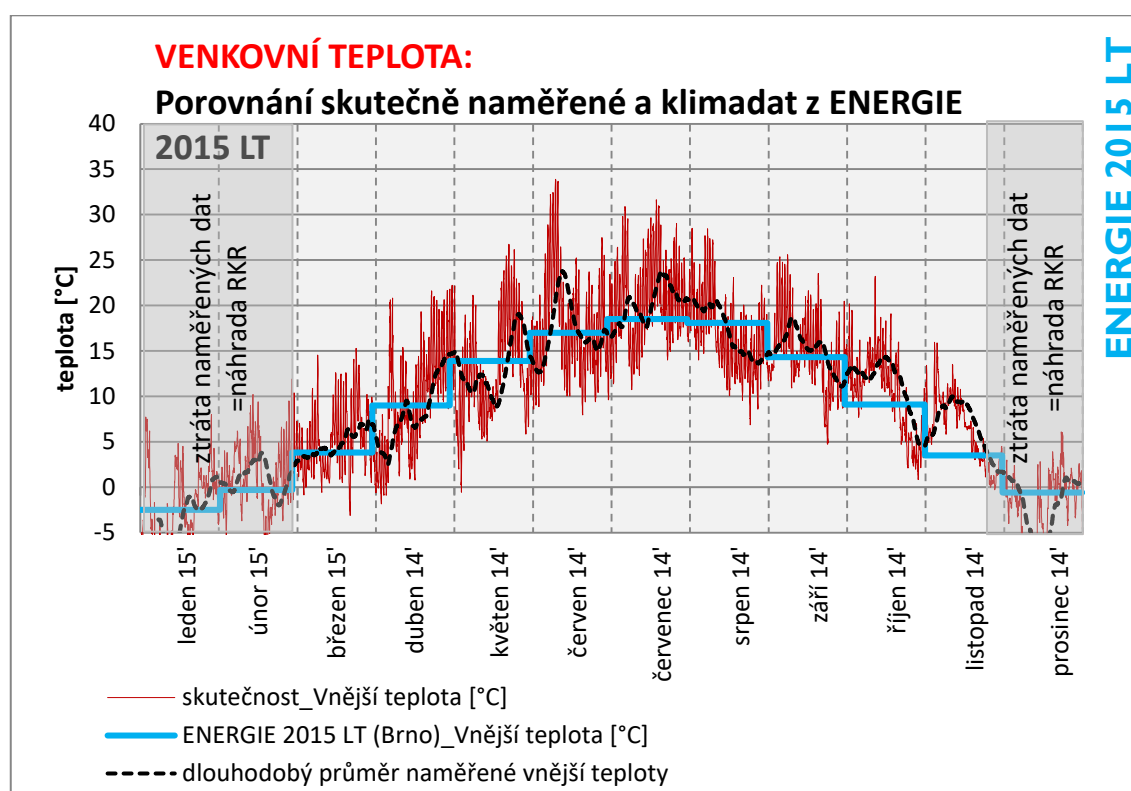
	η_{dist}	účinnost distribuce tepla	100	[%]	běžné hodnoty pro systém přímého elektrického vytápění (sálavé panely)
PŘÍPRAVA TV		denní potřeba teplé vody	35	[l·osobu ⁻¹ ·den ⁻¹]	běžná hodnota pro RD je 35 - 55 l·osobu ⁻¹ ·den ⁻¹
	θ_{CW}	průměrná teplota studené vody	10	[°C]	běžný průměr
	θ_{HW}	teplota teplé vody	55	[°C]	běžný průměr
	η_{TV}	účinnost zdroje přípravy TV	99	[%]	běžná hodnota pro elektrické zdroje (bojler)
KONSTRUKCE	$U_{\text{stěna}}$	součinitel prostupu tepla stěnou	0,097	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	plocha konstrukce 229,30 m ²
	$U_{\text{střecha}}$	součinitel prostupu tepla střechou	0,107	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	plocha konstrukce 98,27 m ²
	U_{podlaha}	součinitel prostupu tepla podlahou	0,159	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	plocha konstrukce 97,75 m ² , exponovaný obvod podlahy 40 m
	ψ_r	lineární tepelný most u rohu budovy	-0,052	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	"záporný" tepelný most (dle výpočtu)
	ψ_r	lineární tepelný most u stěna/střecha 1	-0,04	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	"záporný" tepelný most (dle výpočtu)
	ψ_r	lineární tepelný most u stěna/střecha 2	-0,051	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	"záporný" tepelný most (dle výpočtu)
	ψ_r	lineární tepelný most u věnce	0,003	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	"záporný" tep. most (dle výpočtu)
	ψ_r	lineární tepelný most I-profilů	0,004	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	"záporný" tep. most (dle výpočtu)
VÝPLNĚ OTVORŮ	U_g	součinitel prostupu tepla zasklením	0,58	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	trojsklo-4/16/4/16/4
	g	součinitel propustnosti slunečního záření	0,66	[-]	skrze sklo přejde 66% záření
	U_f	součinitel prostupu tepla rámu okna	0,93	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	dřevohliník
	ψ_g	lineární tepelný most okraje skla	0,034	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	"teplý" distanční rámeček
	ψ_f	lineární tepelný most osazení okna	0,02	[W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	kvalitní detail ukotvení s přeizolováním
		šířka rámu	0,119	[m]	šířka rámu okna
		hloubka ostění a nadpraží	0,25	[m]	hloubka ostění a nadpraží
		zastínění léto JIH - pergolou	0,55	[-]	1,5 m přesah pergoly a 0,52 m nad oknem
		clonění léto - vnější žaluzie	0,35	[-]	vnější žaluzie zabrání 65% záření v létě
		režim clonění	57,3	[%]	činitel clonění se uplatní v režimu chlazení 57,3 % času (běžná hodnota pro jižní orientaci okna)
	$F_{s,h}$	korekční činitel stínění jinými budovami	0,6; 0,90	[-]	0,6 pro okna v nejnižší nadzemní podlaží; 0,9 v ostatních vyšších patrech
	U_D	součinitel prostupu dveří	0,54	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	

5.3.2 Užití přesnějších (naměřených) klimatických dat

Stejně jako u předchozího výpočtového nástroje, tak i v tomto případě bude po prvotním výpočtu zanesena okrajová podmínka ve formě skutečně naměřených klimatických dat, čímž by se měla míra přesnosti výsledku ještě zvýšit. V programu ENERGIE 2015 LT jsou nabízeny katalogy teplot a sluneční energie, kde pro daný

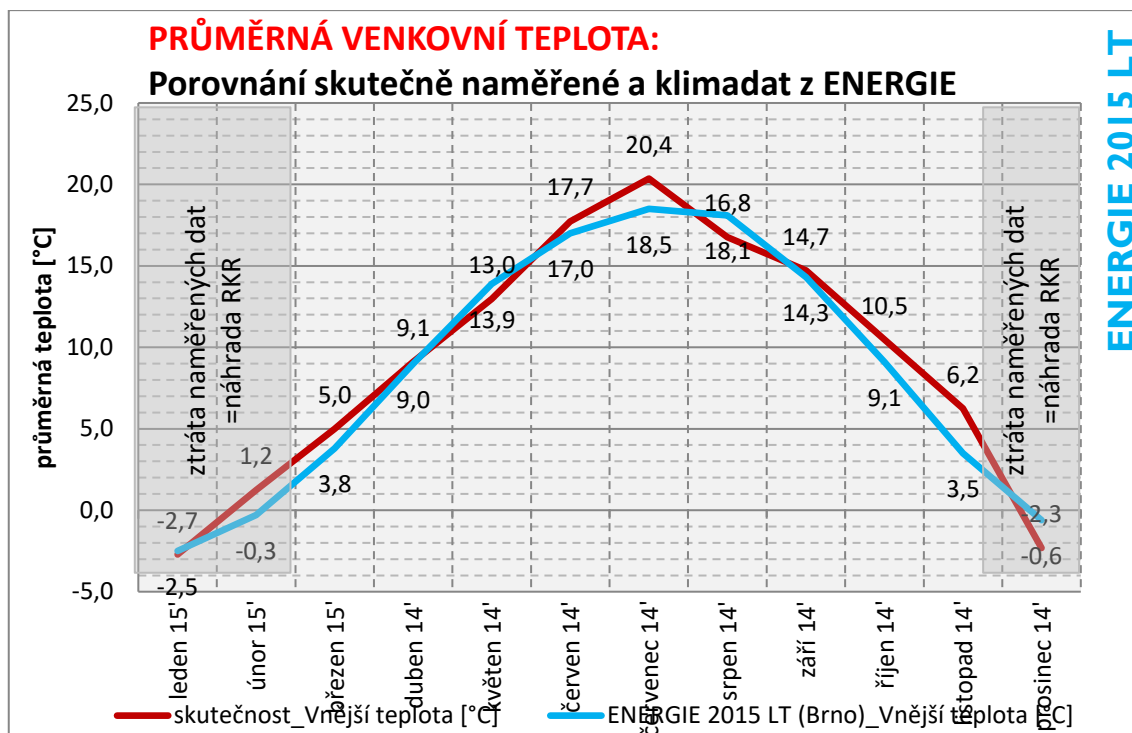
případ bylo zvoleno **Brno**. Pro zanesení **skutečně naměřených klimatických dat** je možnost vytvoření vlastní lokality – **Rapotice**.

V následujícím grafu (Obr. 5.9) jsou **skutečně naměřená data** opět složena z let 2014 a 2015 tak, aby ve svém rozsahu tvořili celý kalendářní rok od ledna do prosince. Výpadky měření byly znovu nahrazeny údaji z Referenčního klimatického roku (RKR) pro Rapotice. Složení těchto dat pak tvoří ucelenou sadu, která je v tomto grafu porovnána s měsíčními průměrnými teplotami venkovního vzduchu, které vstupují do výpočtu ENERGIE 2015 LT (pro lokalitu Brno, která je z nabízených klimadat programů tou nejbližší možnou).



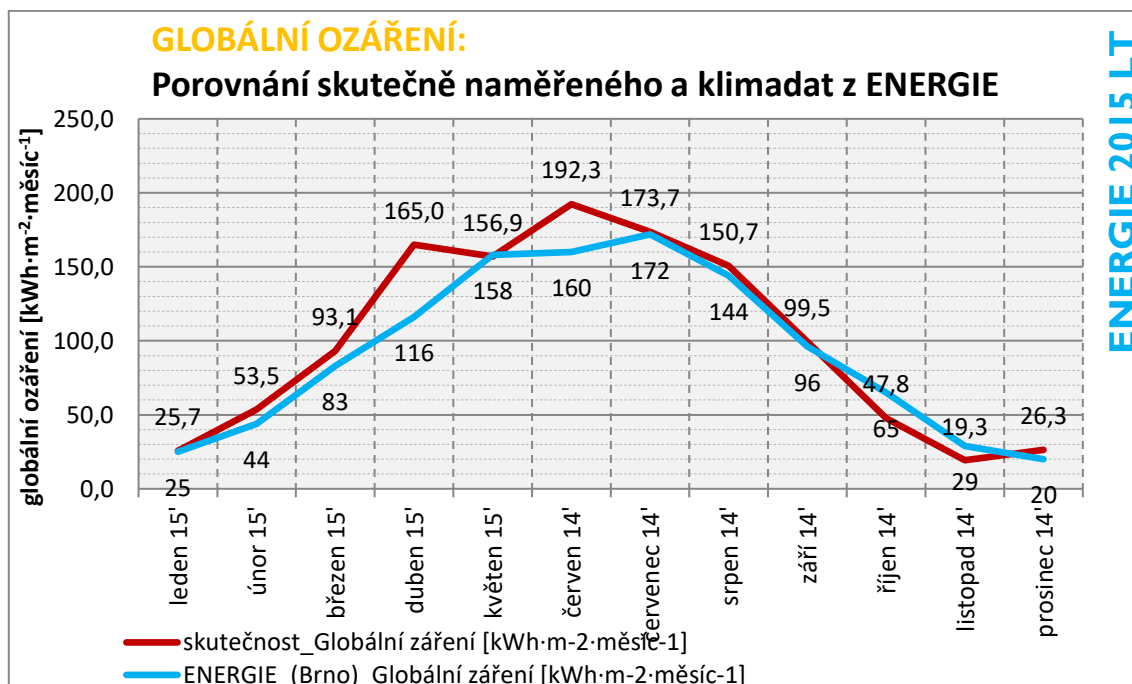
Obr. 5.9: ENERGIE 2015 LT – Porovnání skutečně naměřené venkovní teploty v Rapoticích a teploty klimatických dat vstupujících do ENERGIE 2015 LT (Brno)

Z průměrných měsíčních hodnot (Obr. 5.10) je patrné, že skutečně naměřené teploty vnějšího vzduchu v Rapoticích jsou ve většině roku vyšší než teploty vstupující do výpočtu ENERGIE (Brno). Průměr skutečně naměřených teplot venkovního vzduchu za celý rok je 9,1 °C a klimadat v ENERGIE 2015 LT (Brno) je 8,7 °C.



Obr. 5.10: ENERGIE 2015 LT – Porovnání průměrných měsíčních skutečně naměřených venkovních teplot v Rapoticích a teplot klimadat vstupujících do ENERGIE 2015 LT (Brno)

Další významnou složkou klimatických dat je sluneční ozáření. Na Obr. 5.11 jsou skutečně naměřená data globálního ozáření na vodorovnou plochu složena z let 2014 a 2015 tak, aby ve svém rozsahu tvořili celý kalendářní rok od ledna do prosince, a jsou spočítány jejich měsíční hodnoty. Ty jsou porovnány s globálním ozářením, které vstupuje do výpočtu ENERGIE 2015 LT (pro lokalitu Brno).

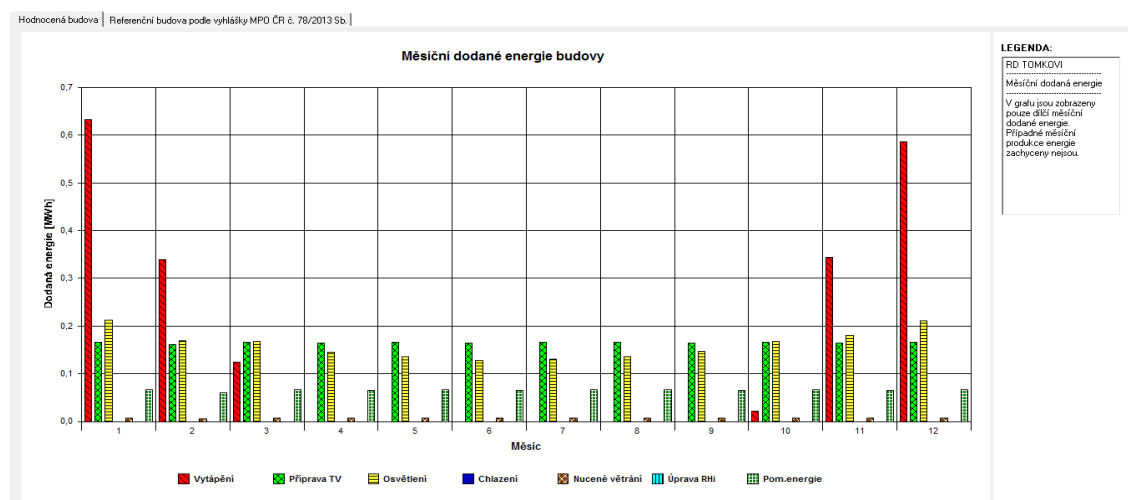


Obr. 5.11: ENERGIE 2015 LT - Porovnání skutečně naměřených měsíčních dávek globálního ozáření v Rapoticích a dávek z klimadat vstupujících do ENERGIE 2015 LT (Brno)

Ze zobrazení v předchozím grafu (*Obr. 5.11*) je zřejmé, že skutečně naměřená dávka slunečního ozáření v Rapoticích je v převážné většině roku vyšší, než hodnoty z klimadat vstupujících do výpočtu ENERGIE 2015 LT pro Brno. Což potvrzují i spočítané průměry za celý rok, kdy skutečně naměřená dávka slunečního ozáření na vodorovnou plochu má průměrnou měsíční hodnotu $100,3 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{měsíc}^{-1}$ ($1\,203,7 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$) a klimadata z ENERGIE 2015 LT (Brno) mají $92,7 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{měsíc}^{-1}$ ($1\,111,9 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$).

5.3.3 Výsledky

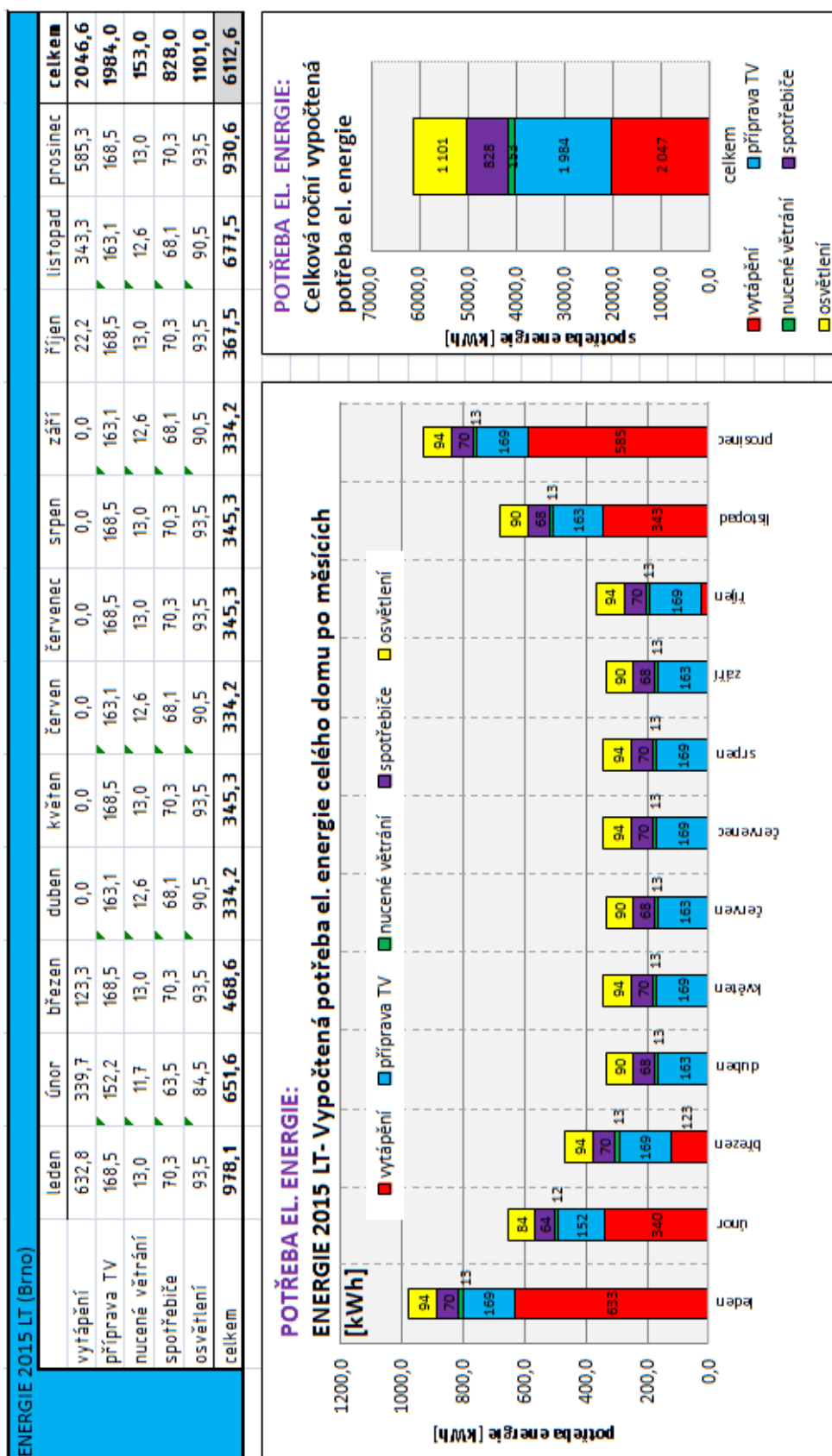
Kompletní výsledky výpočtu podle vyhlášky č. 78/2013 Sb. a ČSN 730540-2 jsou uvedeny v protokolu o výpočtu, viz. *Príloha č. 5: ENERGIE 2015 LT - Výpočet energetické náročnosti budovy*. Dalším výstupem programu je zpracovaný Průkaz energetické náročnosti budovy (PENB) (*Príloha č. 6: ENERGIE 2015 LT - Průkaz energetické náročnosti budovy*) a další grafické výstupy jako např. *Obr. 5.12*.



Obr. 5.12: ENERGIE 2015 LT (Brno) – Měsíční dodané energie

Na *Obr. 5.13* je vyhodnocena v ENERGII 2015 LT (Brno) vypočtená roční spotřeba elektřiny domu, která dosahuje hodnoty $6\,113 \text{ kWh}$. Nejvyšší podíl (33,5 %) na spotřebě domu má vytápění ($2\,047 \text{ kWh}$), které je v provozu od konce října do začátku března a zbylou část roku jsou pokryty energetické nároky domu solárními a vnitřními zisky. Za vytápěním následuje příprava teplé vody ($1\,984 \text{ kWh} = 32,5 \%$), osvětlení ($1\,101 \text{ kWh} = 18,0 \%$), spotřebiče ($828 \text{ kWh} = 13,5 \%$), a nucené větrání ($153 \text{ kWh} = 2,5 \%$).

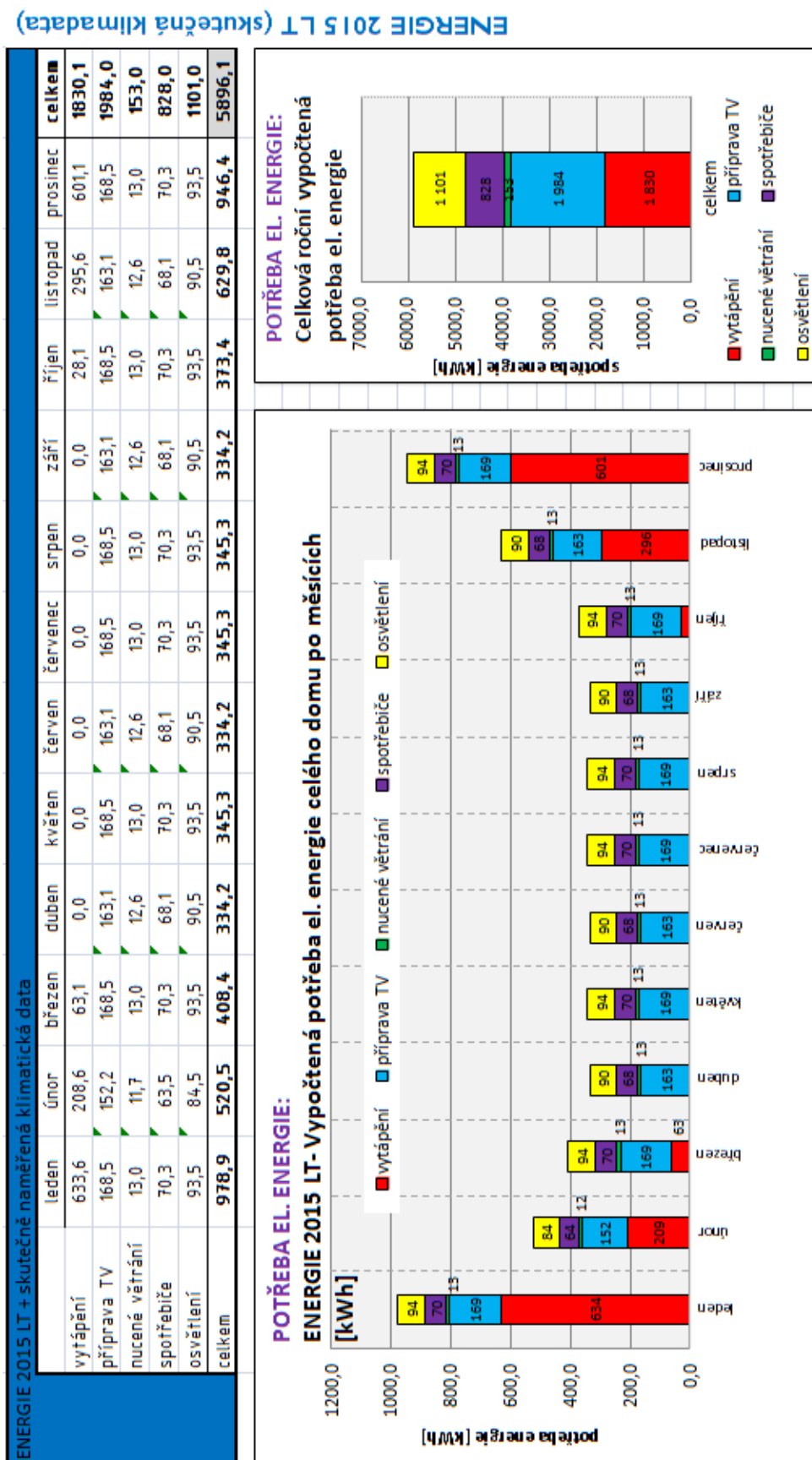
ENERGIE 2015 LT (Brno)



Obr. 5.13: ENERGIE 2015 LT (Brno) - Vypočtená spotřeba elektřiny celého domu

Z důvodu částečné eliminace vnesené chyby do výpočtu nepřesnými klimatickými daty, jsou tato nahrazena **skutečně naměřenými údaji** vnější teploty, relativní vlhkosti, parciálního tlaku a slunečního ozáření v **Rapoticích**. Výsledek takto upraveného výpočtu je na *Obr. 5.14*, kde je vyhodnocena vypočtená roční spotřeba elektřiny domu, která dosahuje hodnoty 5 896 kWh.

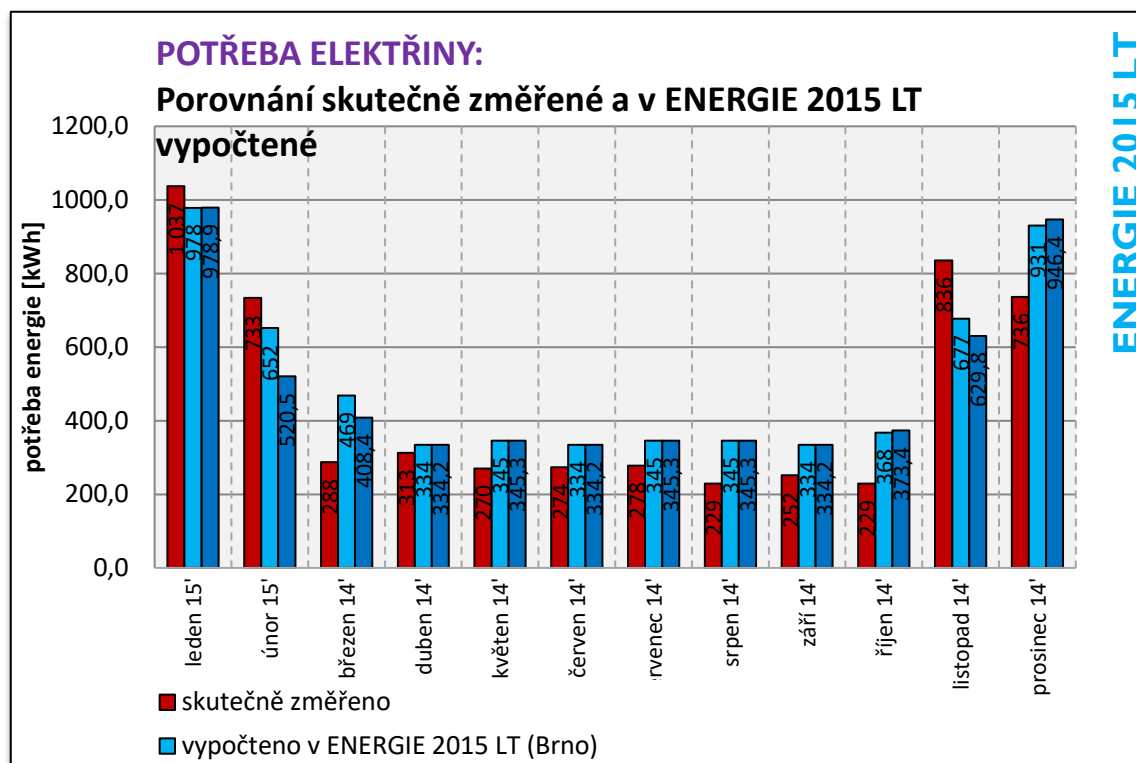
Opět se přiblížením výpočtu celkové energetické náročnosti budovy, k reálně naměřeným hodnotám, potvrdil předpoklad eliminace vnesené chyby klimatickými daty. Nejvyšší podíl na celkové energetické potřebě domu má tentokrát příprava teplé vody (1 984 kWh = 33,6 %). Následuje vytápění (1 830 kWh = 31,0 %), osvětlení (1 101 kWh = 18,7 %), spotřebiče (828 kWh = 14,0 %) a nucené větrání (153 kWh = 2,6 %).



Obr. 5.14: ENERGIE 2015 LT (Skutečná klimadata) - Vypočtená spotřeba elektřiny celého domu

5.3.4 Porovnání a rozbor

Na Obr. 5.15 jsou porovnávány **skutečně neměřené měsíční spotřeby elektřiny** s výsledkem výpočtu v ENERGIE 2015 LT s v programu nabízenou nejbližší lokalitou (**Brno**) a s výsledkem výpočtu, do kterého byla zanesena **skutečně naměřená klimatická data**. Konkrétně jde o celkovou energetickou náročnost, kdy jsou porovnané měsíční skutečné spotřeby elektřiny celého domu s potřebami vypočtenými v nástroji ENERGIE 2015 LT.



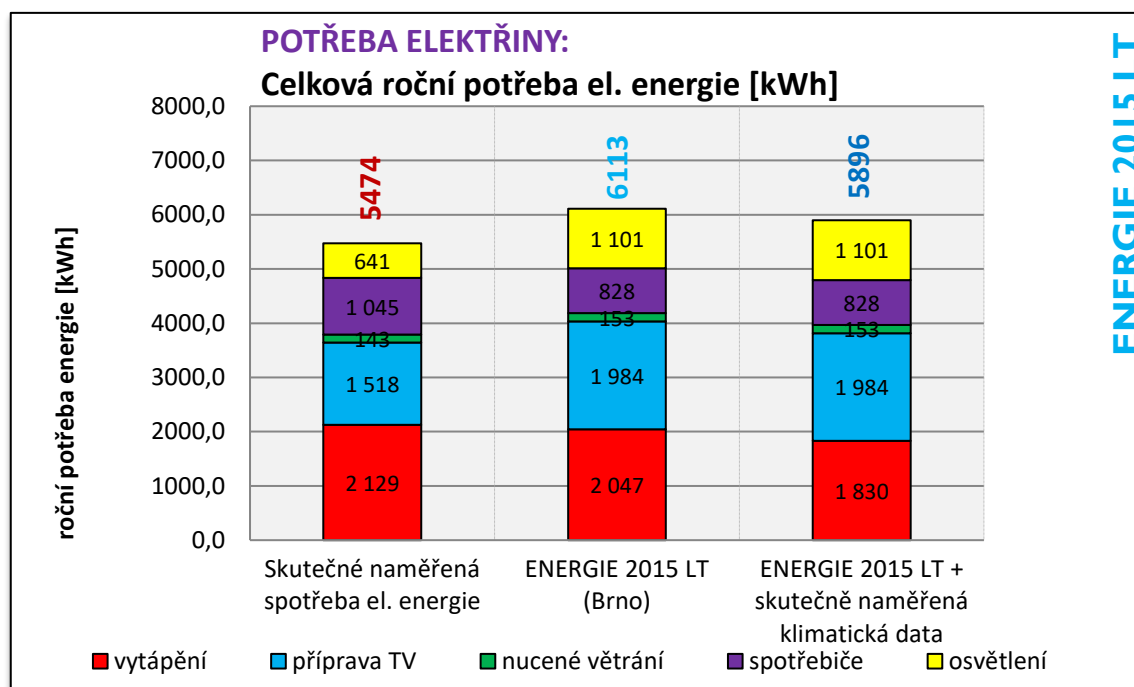
Obr. 5.15: ENERGIE 2015 LT - Porovnání skutečně změřené spotřeby elektřiny celého domu v Rapoticích a výsledku výpočtu v programu ENERGIE 2015 LT

Z průběhu v Obr. 4.15 jsou patrné převážně vyšší vypočtené hodnoty v každém měsíci oproti realitě. Rozdíly konkrétních skupin spotřeby jsou na Obr. 5.16, kde je porovnána celková roční spotřeba elektřiny domu, která je rozdělena do již zmiňovaných pěti základních skupin a ve výsledku se liší od skutečně naměřených hodnot (základ pro procentuální vyjádření) o 638,2 kWh = 11,7 % pro data **Brno**, respektive o 421,7 kWh = 7,7% po vložení **skutečně naměřených klimatických dat**.

U jednotlivých skupin jsou rozdíly následující (Tab. 5.5):

Tab. 5.5: ENERGIE 2015 LT - Rozdíly mezi skutečně naměřenými daty a výpočtem v ENERGIE 2015 LT

	skutečně změřeno [kWh]	vypočteno v ENERGIE 2015 LT (Brno) [kWh]	rozdíl [kWh]	procentní rozdíl	vypočteno v ENERGIE 2015 LT (skutečná klimadata) [kWh]	rozdíl [kWh]	procentní rozdíl
vytápění	2 128,5	2046,6	-81,9	-3,8 %	1830,1	-298,4	-14,0 %
příprava TV	1 517,6	1984,0	466,4	30,7 %	1984,0	466,4	30,7 %
nucené větrání	142,6	153,0	10,4	7,3 %	153,0	-10,4	7,3 %
spotřebiče	1 044,9	828,0	-216,9	-20,8 %	828,0	-216,9	-20,8 %
osvětlení	640,7	1101,0	460,3	71,8 %	1101,0	460,3	71,8 %
celkem	5 474,4	6 112,6	638,2	11,7 %	5 896,1	421,7	7,7 %



Obr. 5.16: ENERGIE 2015 LT - Porovnání celkové změřené roční spotřeby elektřiny s výpočtem v ENERGIE 2015 LT (rozdělení do 5 hlavních kategorií)

Značný rozdíl vypočtené potřebné energie 466,4 kWh (rozdíl oproti skutečnosti = 30,7 %) při přípravě teplé vody je patrně zapříčiněn nadhodnocenou výpočtovou denní potřebou teplé vody $35 \text{ l} \cdot \text{osobu}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$ (v ČSN 730331 uváděných pro RD 35 – 55 $\text{l} \cdot \text{osobu}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$), kdy např. v PHPP je doporučováno $25 \text{ l} \cdot \text{osobu}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$. Takováto nižší denní potřeba TV by snížila potřebnou energii na její přípravu o 385 kWh na hodnotu 1 599 kWh (rozdíl oproti skutečnosti = 5,4 %).

Stejně tak se jeví nadhodnocená vypočtená spotřeba energie na osvětlení (rozdíl 71,8 % oproti realitě), která je ve výpočtu uvažována s průměrným měrným příkonem $0,05 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$, minimální přípustnou osvětleností 50 lx a průměrnou účinností

osvětlení 20 %. Tento stanovený postup je tedy oproti realitě nadhodnocen a neuvažuje s obsazeností objektu.

5.3.5 Dílčí závěr

Výpočet energetické bilance domu, v programu ENERGIE 2015 LT (Brno), dává uspokojivý výsledek (s rozdílem 11,7 % od základu, kterým je skutečně naměřená hodnota), který se po zanesení skutečně naměřených klimatických podmínek ještě více přiblížil celkové reálně naměřené spotřebě energie, od které se liší v daném případě o 7,7 %.

Uživatelské prostředí programu je velmi přátelské, přehledné a zadávání vstupních dat má logické uspořádání. Ke každému parametru je dostupný podrobný komentář s nabídkou běžných hodnot.

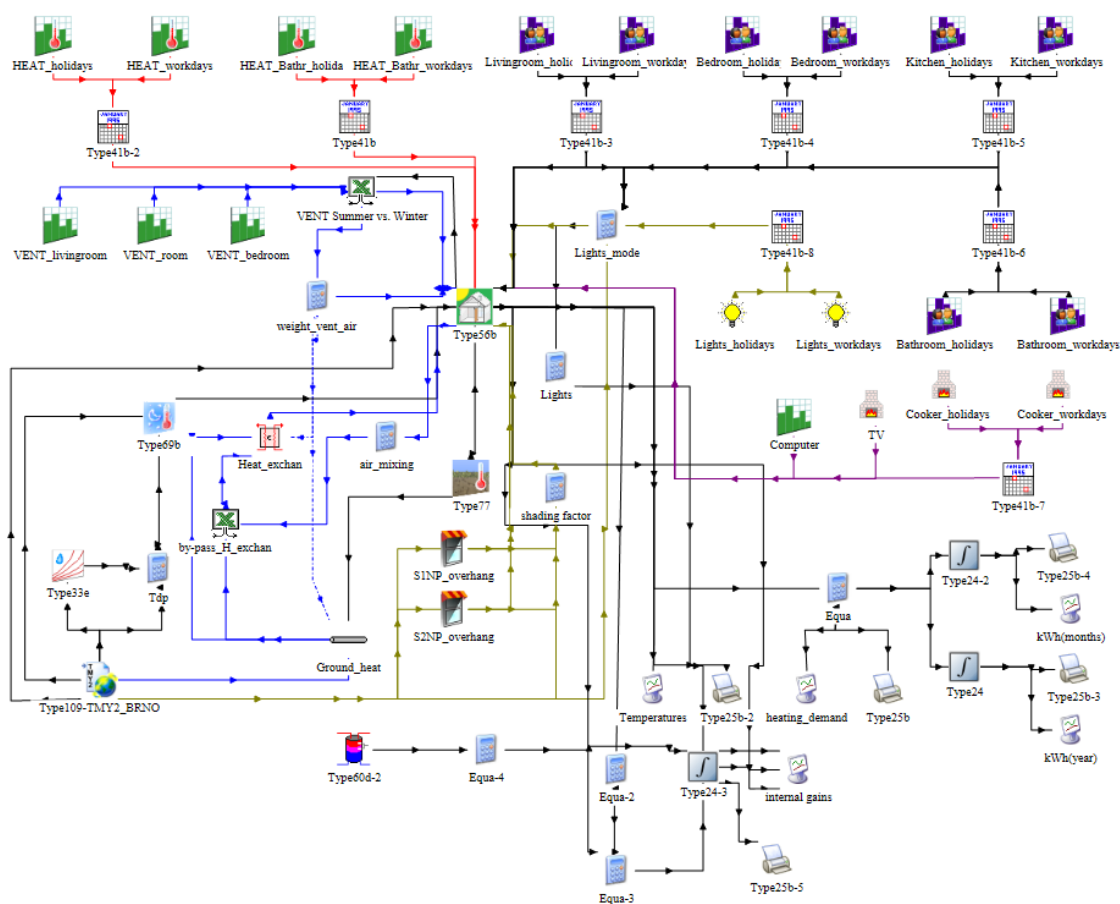
5.4 Energetická simulace pomocí programu TRNSYS 16

5.4.1 Materiál a metodika (Postup simulace)

V této části práce bude proveden výpočet energetických potřeb hodnocené budovy pomocí programu TRNSYS 16. Dynamická simulace umožňuje užití podrobnějších vstupních údajů, jako např. konkrétní hodinová klimatická data pro danou oblast, podrobné definování zóny, výskyt osob, zapínání spotřebičů a osvětlení, vnitřní teploty pro režim vytápění a chlazení atd. Program umožňuje simulační výpočty v celé oblasti solární tepelné techniky, alternativních zdrojů energie, včetně větrných elektráren, kogenerace i palivových článků a souvisejících oblastí vytápění, větrání a klimatizace. Zohledňuje geometrii a vlastnosti konstrukcí, prosklených ploch, akumulaci na vnitřních površích, vnitřní tepelné zisky, atd. Na základě dynamického modelu jsou bilancovány tepelné toky v zónách budovy v interakci s definovaným profilem užívání jednotlivých zón (obsazenost, osvětlení, regulace vytápění a větrání, řízení solárních zisků) a venkovními klimatickými podmínkami ve zpravidla hodinovém kroku. Výsledkem je podrobný výpočet potřeby tepla na vytápění, nicméně časově náročný na sestavení vlastního modelu budovy. TRNSYS vyžaduje detailní znalosti jak fyzikální podstaty simulovaného problému, tak vlastního programu.

Program se skládá ze dvou částí. První z nich je řešič, který čte a zpracovává vstupní soubory, opakovaně řeší systém, určuje konvergenci a vyčísluje systémové proměnné. Druhá část je rozsáhlá knihovna modulů (TYPE), z nichž každá simuluje jednu část celého systému. Moduly (TYPE) jsou koncipovány tak, že uživatel může měnit již ty existující, nebo si vytvořit své vlastní. TRNSYS umožňuje libovolné kombinace jednotlivých prvků s velmi širokými možnostmi volby parametrů. Vzhledem k možnosti neomezeného propojování jednotlivých modulů (TYPE) je v prostředí TRNSYS Studio poměrně složité udržet schéma jednoduché a přehledné (*Obr. 5.17*).

Program umožňuje ukládat do výsledků výstup z libovolného modulu a zároveň umožňuje tento výstup graficky zobrazovat na obrazovce v průběhu výpočtu a sledovat výsledky v průběhu simulace. U rozsáhlejších soustav jsou výpočty časově náročné (v závislosti na zvoleném časovém kroku).

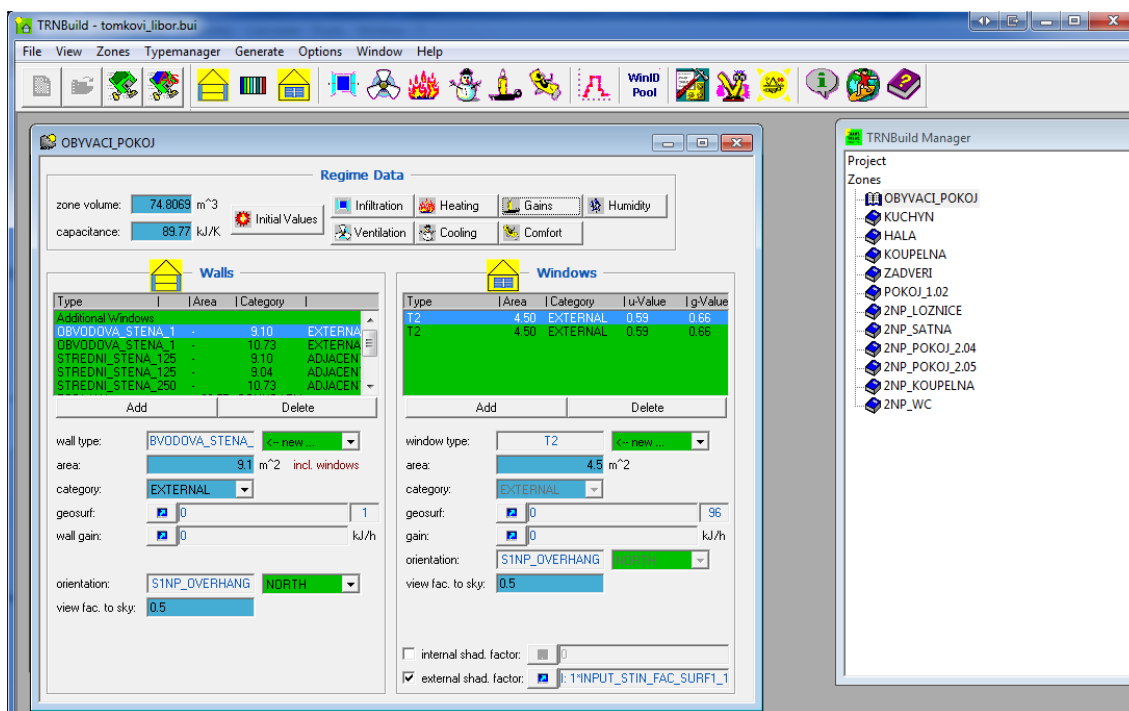


Obr. 5.17: TRNSYS 16 – Schéma výpočtového modelu zámkového objektu.

Na *Obr. 5.17* je zobrazeno pracovní schéma simulačního modelu, který se skládá z několika modulů (v tomto případě ze 65), z nichž každý simuluje určitou

problematiku a je propojen s jinými moduly pro předávání vstupních a výstupních hodnot různých parametrů.

Nejdůležitější částí modelu je „Type 56 b – Multizone Building“ (umístěn ve středu schématu výpočtového modelu), ve kterém se v prostředí TRNBuild rozdělí budova do zón (každá místnost je samostatná zóna) a je uvažována jejich vzájemná interakce. Tím je myšleno vzájemné tepelné ovlivňování (výměna tepla prostupem mezi společnými vnitřními konstrukcemi a vzájemná výměna vzduchu). Pro každou zónu se definuje objem, požadovaná teplota a vlhkost vzduchu, parametry konstrukcí (včetně vnitřních), parametry okenních výplní, orientace, stínění, infiltrace, vytápění, vnitřní zisky, větrání, chlazení atd. Většina parametrů je navázána na režimy (vytápěcí, větrací, stínící, ...), což jsou vstupy do „Type 56 b“, které jsou definovány v samostatných modulech. Režimy se mění v závislosti na pracovních a nepracovních dnech, ale také v průběhu dne, podle užívání stavby a podle toho se řídí i vnitřní zisky (od osob, zapínání osvětlení, spotřebičů, clonění žaluziemi dle dávky slunečního ozáření a přítomnosti osob, atd.), (*Obr. 5.18*).



Obr. 5.18: TRNSYS 16 – Ukázka definice zóny v Type 56 b – Multizone Building

Jedním z hlavních vstupních parametrů jsou klimatická data. Pro přesnou dynamickou simulaci je zapotřebí použít co nejvěrohodnější podrobná data, protože ty mají velký význam na hodnotu výsledku. V této simulaci byla použita klimatická data:

- a) programem preferovaná data z databáze Meteonormu (*TMY2-Typical Meteorological Year, Version 2*) pro **Brno**. Jedná se o komerční nástroj, který využívá data ze satelitních měření i z pozemních meteostanic (na území ČR využívá 34 stanic). Nejbližší dostupná data jsou pro lokalitu Brno.
- b) **Referenčního klimatického roku (RKR)** pro **Brno**. RKR je zpracován pro území ČR a je součástí národní přílohy ČSN EN ISO 15927-4:2011. Obsahuje hodinová klimatická data typického roku, pro který byly z různých roků vybrány jednotlivé měsíce, které co nejlépe odpovídají typickému kalendářnímu měsíci dlouhodobého souboru dat, a spoje mezi nimi jsou vyhlazeny.
- c) **Referenčního klimatického roku (RKR)** pro konkrétní lokalitu **Rapotice**, kdy jsou data pro jednotlivé lokality dopočítávány podle polohy a nadmořské výšky.
- d) **Skutečně naměřená klimatická data** v **Rapoticích**, která mají nahrazena výpadky měření daty z RKR pro Rapotice.












Klimatická data mají mimo jiné i vliv na teplotní rozvrstvení v zemině a tím pádem i na účinnost zemního výměníku, která je proměnná.








U vzduchotechnické jednotky byl nasimulován by-pass, který zajišťuje buď zpětné získávání tepla z odváděného teplého vzduchu (při $\theta_{\text{air},i} < 25^\circ\text{C}$), nebo pouze větrání předchlazeným vzduchem ze zemního výměníku (při $\theta_{\text{air},i} > 25^\circ\text{C}$). Objem větraného vzduchu také závisí na teplotě v interiéru, kdy se při $\theta_{\text{air},i} > 25^\circ\text{C}$ zvýší stupeň intenzity větrání (zdvojnásobí).








Podrobnější popis zadávaných parametrů je v *Tab. 5.6*.







Tab. 5.6: TRNSYS 16 (TMY2-Brno) - Vstupní hodnoty do výpočtu TRNSYS

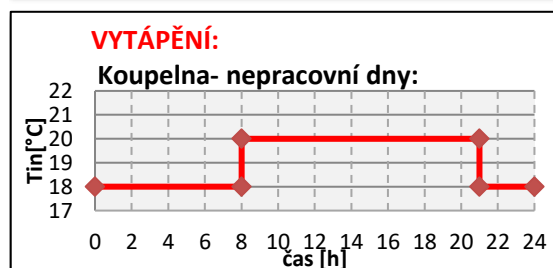
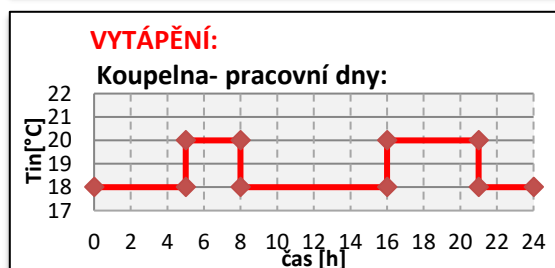
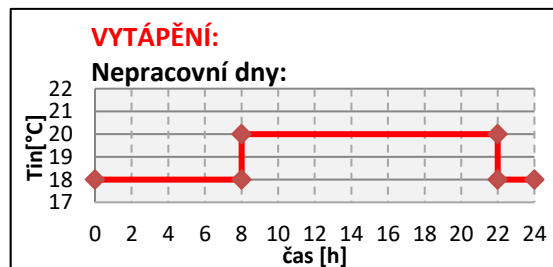
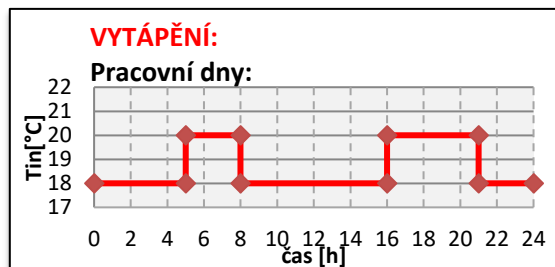
	type	charakteristika	hodnota	jednotka	poznámka
ZÁKLADNÍ ÚDAJE		Typ výpočtu	hodinový krok		simulace bude provedena v hodinovém kroku
		Délka simulace	0 - 8760	[h]	výpočet pro celý rok (= 8760 hodin)
		Tolerance integrace	0,05	[-]	určení tolerance chyby, která řídí chybu integrace, která má být použita během simulace
		Tolerance konvergence	0,05	[-]	určení tolerance chyby, která řídí konvergenci vstupních a výstupních proměnných, které mají být použity během simulace.

KLIMADATA	 Type109	TYPE 109: kompletní hodinová klimatická data	TMY2 – Brno RKR – Brno RKR Rapotice Skutečná klimadata		Nejbližší dostupná lokalita v databázi. Generuje např. vnější teplotu, relativní vlhkost, sluneční ozáření, směr a rychlost větru, atmosférický tlak, atd.
	 Type33e	TYPE 33e: Psychometrie			Definuje teplotu prostředí (T_{amb}) a relativní vlhkost (RH) pro type 56
	 Tdp	EDUCATION: Výpočet rosného bodu			Z klimatických dat vypočítává teplotu rosného bodu (T_{dp}), jako vstup pro teplotu oblohy
	 Type69b	TYPE 69b: Teplota oblohy			Definuje teplotu oblohy (T_{sky}) pro type 56
MODEL BUDOVY	 Type56b	TYPE 56b: Model multizonální budovy			Modelování multizonální budovy v TRNBuild (definice zón, konstrukcí, výplní otvorů, výměny vzduchu mezi jednotlivými zónami, infiltrace, požadované teploty, vnitřní zisky, větrání, chlazení, atd.)
VĚTRÁNÍ	V_{vent}	Objem přiváděného a odváděného vzduchu	55,5; 111	[m ³ ·h ⁻¹]	55,5 m ³ ·h ⁻¹ (skutečné změřená hodnota) při $t_i < 25\text{ °C}$; 111 m ³ ·h ⁻¹ při $t_i > 25\text{ °C}$
		Procento času s nuceným větráním	100	[%]	VZT systém je provozován 100 % času
	n_{50}	Součinitel vzduchotěsnosti	0,44	[h ⁻¹]	proveden Blower-door test 50Pa
		Průměrný měrný příkon ventilátorů VZT jednotky	1620	[Ws·m ⁻³]	malá větrací jednotka s EC motorem, bez ohřívače nebo chladiče, objemový průtok vzduchu 200 m ³ ·h ⁻¹
		váhový činitel redukce ventilátorů	0,7	[-]	
	 Type14h	TYPE 14h: Definice větracích režimů			definuje větrací režimy během dne pro jednotlivé zóny
	 summer vs	TYPE 62: Excel - Režim výkonu VZT jednotky			rozhoduje přepínání větracích režimů VZT jednotky na léto/zima dle t_i (hranice 25 °C)
	 light_vent	EDUCATION: Objem a hmotnost větraného vzduchu			výpočet celkového objemu a hmotnosti větraného vzduchu vstupujícího jako vstup do Type 56b, VZT jednotky a zemního výměníku. Výpočet spotřeby VZT.
	 Type77	TYPE 77: Teplota zeminy			modeluje vertikální rozdělení teplot půdy (nutné zadání parametrů zeminy), která působí na zemní výměník a má vliv na jeho účinnost
	 Ground_hetepla	TYPE 31: Zemní výměník			simuluje zemní výměník tepla s proměnnými vstupy teploty zeminy, teploty vzduchu, objemu vzduchu
	 Type91	TYPE 91: Rekuperační jednotka			modeluje zpětné získávání tepla z odpadního vzduchu

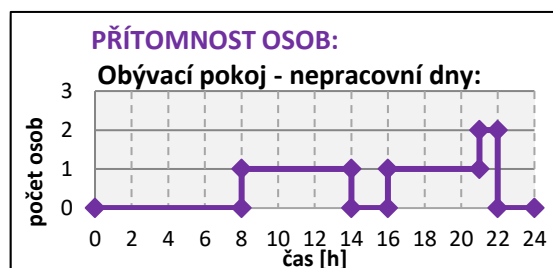
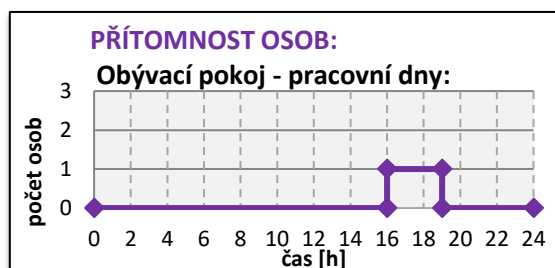
	η_{ZT}	Účinnost rekuperační jednotky	75	[%]	křížový deskový výměník (oproti udávané účinnosti sníženo o 12,5 %)
	 air_mixing	EDUCATION: Teplota odpadního vzduchu			výpočet teploty odpadního vzduchu pro by-pass
	 pass_H_ex	TYPE 62: Excel - By-pass VZT jednotky			by-pass rekuperace (rekuperace/větrání)
VYTÁPĚNÍ		θ_i - návrhová vnitřní teplota	18; 20	[°C]	18°C v podružných místnostech a mimo přítomnost osob v zóně; 20 °C v pobytových místnostech za přítomnosti osob;
		radiační složka vytápění	0,5; 0,85	[-]	0,5 (50 % radiací) pro otopná tělesa; 0,85 (85 % radiací) pro infrapanely
		maximální tepelný výkon zdroje tepla	500; 600	[W]	500 W pro infrapanel; 600 W pro topný žebřík v koupelně
	 Type14e	TYPE 14e: Definice topných režimů			definuje topné režimy během dne pro jednotlivé zóny, viz. Obr. 5.19
	 Type41b-2	TYPE 41b: Kalendář			definuje pracovní dny, víkendy a volna pro vytápění
PŘÍPRAVA TV		denní potřeba teplé vody	25	[l-osobu ⁻¹ .den ⁻¹]	běžná hodnota pro RD dle PHPP je 25 l-osobu ⁻¹ .den ⁻¹
	θ_{cw}	průměrná teplota studené vody	10	[°C]	běžný průměr
	θ_{HW}	teplota teplé vody	55	[°C]	běžný průměr
	V_w	Objem zásobníku vody	300	[l]	objem zásobníku TV je 300 l a je ohříván elektricky
		maximální tepelný výkon zdroje tepla	4 500	[W]	maximální výkon bojleru
	 Type60d-2	TYPE 60d: Zásobník teplé vody			simuluje přípravu teplé vody
VNITŘNÍ ZISKY A OSVĚTLENÍ		produkce tepla osobami	120; 185	[W]	dle režimů přítomnosti osob a dle ISO 7730: 120 W - velmi lehké psaní v sedě (ostatní místnosti) 185 W - lehká nebo pomalá práce ve stoje (kuchyň)
		produkce tepla vybranými spotřebiči	100; 230; 250	[W]	produkce tepla televizí, počítačem, sporákem během provozu
		produkce tepla ostatními spotřebiči v pobytových místnostech	0,6	[W·m ⁻²]	produkce tepla 3 W·m ⁻² běžnými spotřebiči v pobytových místnostech s využitím 20% času
	 Computer	TYPE 14h: Provoz počítače			určuje provoz počítače pro vnitřní tepelné zisky
	 TV	TYPE 14c: Vnitřní zisky od televizoru a sporáku			udává velikost vnitřních zisků od televizoru a sporáku během sepnutí

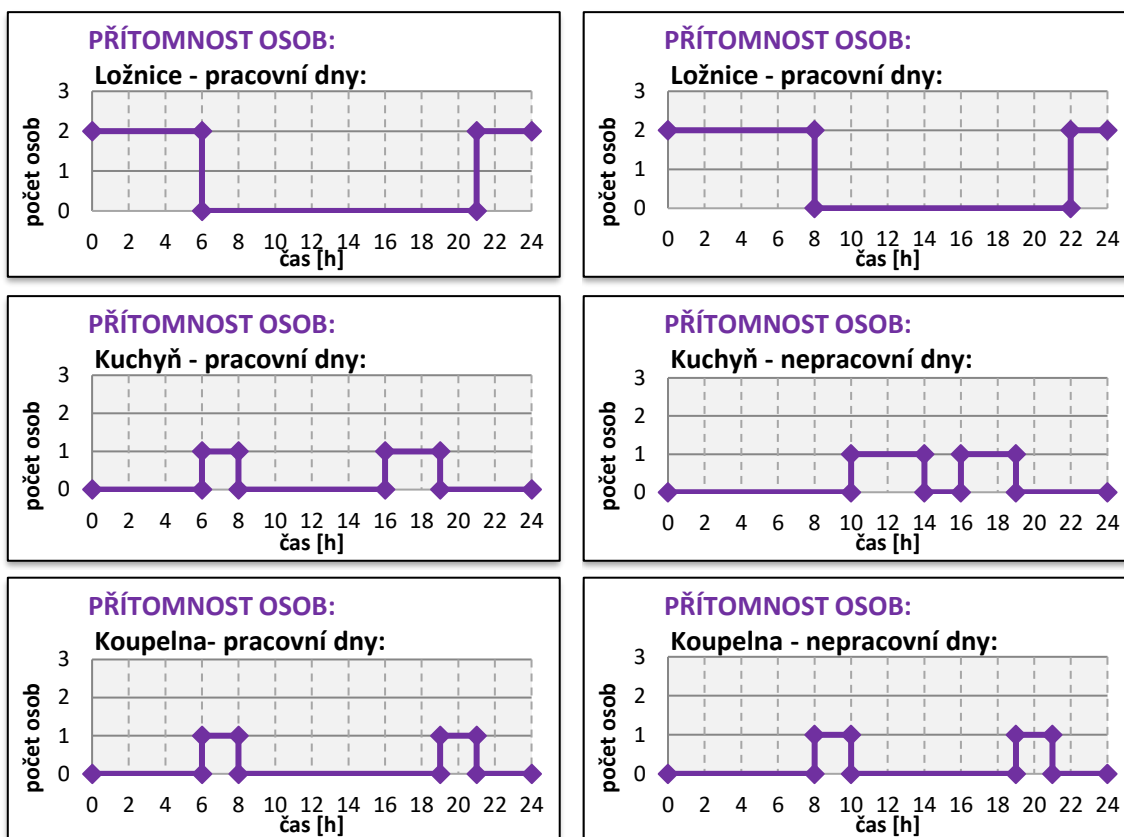
	 Type41b	TYPE 41b: Kalendář			definuje pracovní dny, víkendy a volna pro vaření
	 Type14d	TYPE 14d: Osvětlení			Definuje svícení v zónách
	 Type41b	TYPE 41b: Kalendář			definuje pracovní dny, víkendy a volna pro svícení
	 lights_mod	EDUCATION: Potřeba osvětlení			definuje za jakých podmínek je třeba svítit (na základě dávky slunečního ozáření a přítomnosti osob v zóně)
	 Lights	EDUCATION: Spotřeba osvětlení			počítá spotřebu osvětlení
PŘÍTOMNOST OSOB	 Type14a	TYPE 14a: Přítomnost osob			definuje přítomnost osob v zóně a tím vnitřní tepelné zisky a užívání spotřebičů, osvětlení, vytápění, (viz. Obr. 5.20)
	 Type41b	TYPE 41b: Kalendář			definuje pracovní dny, víkendy a volna pro přítomnost osob
KONSTRUKCE	$U_{stěna}$	součinitel prostupu tepla stěnou	0,097	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	plocha konstrukce 229,30 m ²
	$U_{střecha}$	součinitel prostupu tepla střechou	0,107	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	plocha konstrukce 98,27 m ²
	$U_{podlaha}$	součinitel prostupu tepla podlahou	0,159	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	plocha konstrukce 97,75 m ² , exponovaný obvod podlahy 40 m
	ψ_r	lineární tepelný most u rohu budovy	-0,052	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	"záporný" tepelný most (dle výpočtu)
	ψ_r	lineární tepelný most u stěna/střecha 1	-0,04	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	"záporný" tepelný most (dle výpočtu)
	ψ_r	lineární tepelný most u stěna/střecha 2	-0,051	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	"záporný" tepelný most (dle výpočtu)
	ψ_r	lineární tepelný most u věnce	0,003	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	"záporný" tepelný most (dle výpočtu)
	ψ_r	lineární tepelný most I-profilů	0,004	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	"záporný" tepelný most (dle výpočtu)
	ψ_r	lineární tepelný most u soklu	-0,02	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	"záporný" tepelný most (dle výpočtu)
VÝPLNĚ OTVORŮ	U_g	součinitel prostupu tepla zasklením	0,58	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	trojsklo-4/16/4/16/4
	g	součinitel propustnosti slunečního záření	0,66	[-]	skrze sklo přejde 66% záření
	U_f	součinitel prostupu tepla rámu okna	0,93	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	dřevohliník
	ψ_g	lineární tepelný most okraje skla	0,034	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	"teplý" distanční rámeček
	ψ_f	lineární tepelný most osazení okna	0,02	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	kvalitní detail ukotvení s přeizolováním

		šířka rámu	0,119	[m]	šířka rámu okna
		hloubka ostění a nadpraží	0,25	[m]	hloubka ostění a nadpraží
	 NP_overh	TYPE 34: Stínění oken			Výpočet difuzního ozáření dopadajícího na stíněné okno markýzou a přesahem střechy
	 shading fac	EDUCATION: Clonění žaluziemi			výpočet proměnného (0 - 0,9) clonícího faktoru žaluziemi podle dávky slunečního ozáření a přítomnosti osob
	U _D	součinitel prostupu dveří	0,54	[W·m ⁻² ·K ⁻¹]	
VÝSTUPY	 Equa-4	EDUCATION: Přepočet jednotek			přepočítává veličiny na požadované jednotky
	 Type24	TYPE 24: Integrátor			sumarizuje jednotlivé veličiny do celku výpočetního roku
	 Type65	TYPE 65: Online ploter			zobrazuje na monitoru graf průběhu sledovaných veličin
	 Type25b	TYPE 25b: Tiskárna			vypisuje sledované veličiny do souboru



Obr. 5.19: TRNSYS16 – Řídící profily vytápění



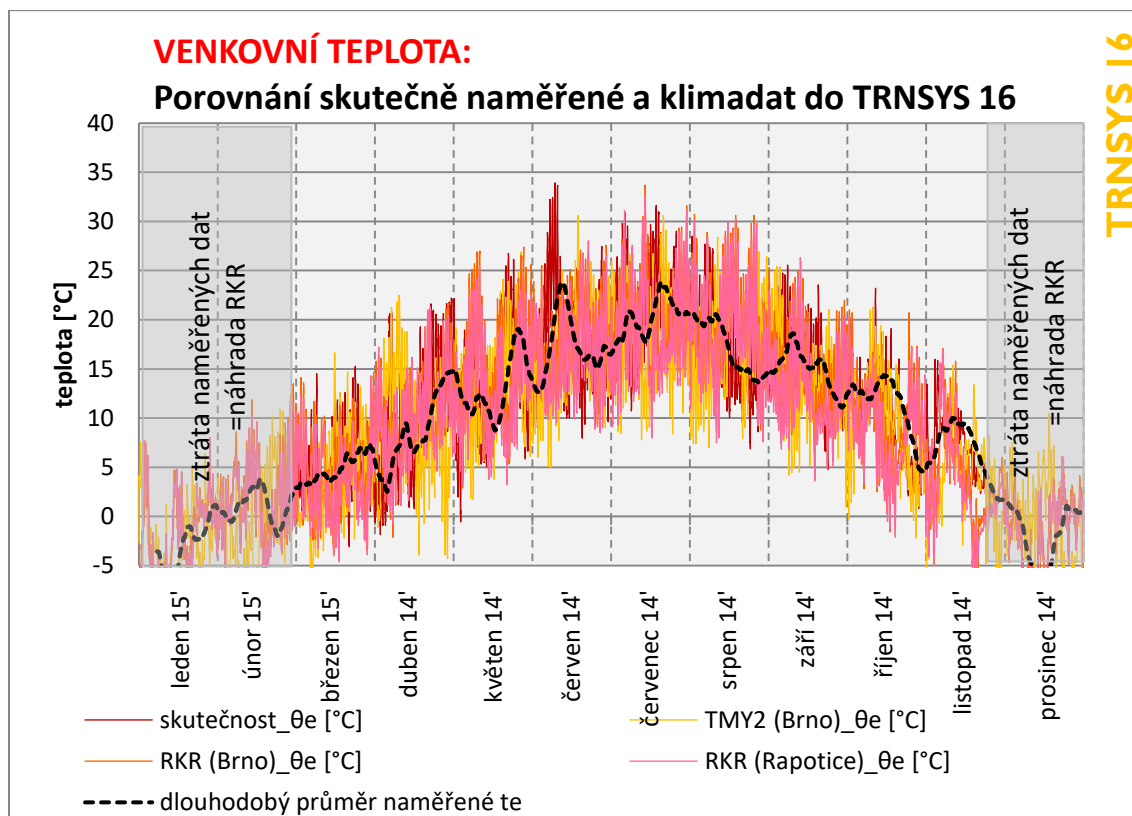


Obr. 5.20: TRNSYS16 – Řídící profily přítomnosti osob

5.4.2 Užití přesnějších klimatických dat

Oproti předchozím výpočtům je v této dynamické simulaci užito více sad klimatických dat. Prvotní simulace používá programem preferovaná data z databáze Meteonormu (*TM2-Typical Meteorological Year, Version 2*) pro **Brno**. Pro srovnání různých klimatických dat stejné lokality je následně užito dat **Referenčního klimatického roku (RKR)** pro **Brno**. K posouzení vlivu přesné lokalizace stavby je dále provedena simulace s daty **Referenčního klimatického roku (RKR)** pro konkrétní lokalitu **Rapotice** a nakonec jsou vložena **skutečně naměřená klimatická data** v **Rapoticích**, která mají nahrazena výpadky měření daty z RKR pro Rapotice, tak aby simulace co nejvěrohodněji reflektovala reálný stav.

V následujícím grafu (Obr. 5.21) jsou **skutečně naměřená data** opět složena z let 2014 a 2015 tak, aby ve svém rozsahu tvořili celý kalendářní rok od ledna do prosince. Výpadky měření byly znovu nahrazeny údaji z Referenčního klimatického roku (RKR) pro Rapotice. Složení těchto dat pak tvoří ucelenou sadu, která je v tomto grafu porovnána se zmiňovanými klimatickými daty.

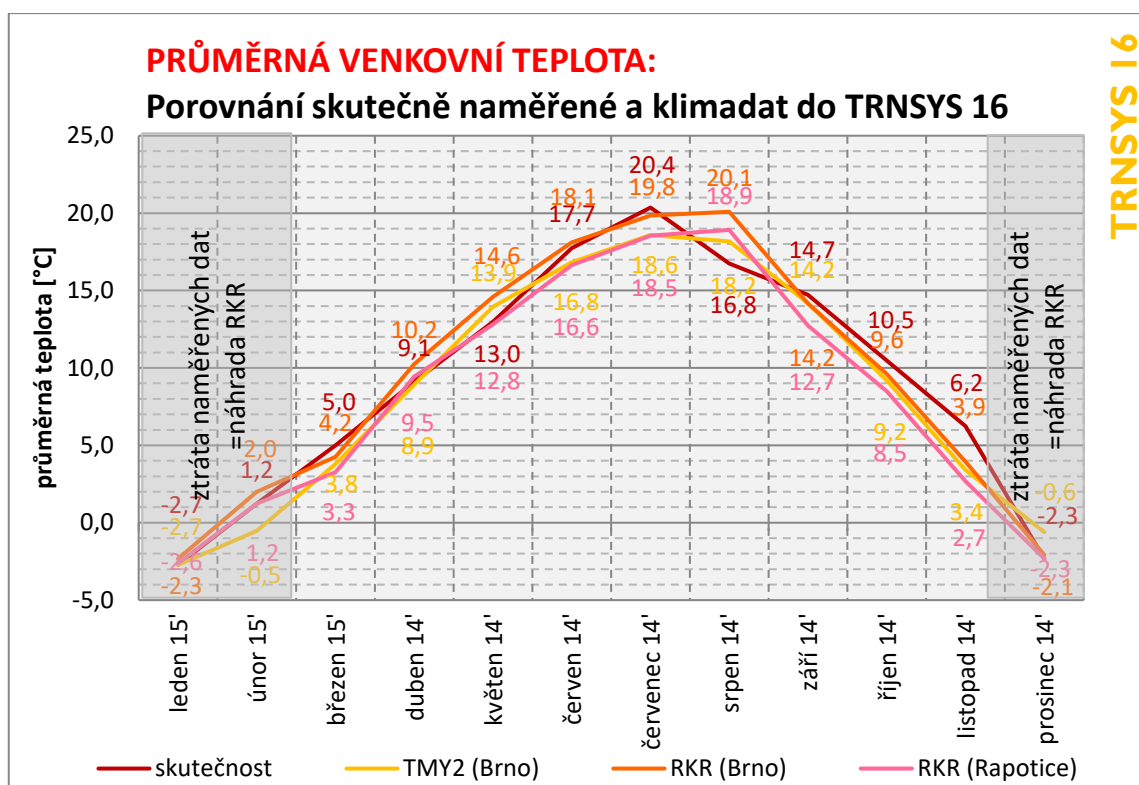


Obr. 5.21: TRNSYS16 – Porovnání skutečně naměřené venkovní teploty v Rapoticích a teplot klimatických dat vstupujících do TRNSYS (TMY2-Brno; RKR-Brno; RKR-Rapotice)

V průběhu vnějších teplot se vyskytuje výrazná anomálie v období 8. - 11. června, kdy jsou naměřené hodnoty výrazně vyšší, oproti ostatním klimadatům. Skutečně naměřené teploty dosahovaly v tomto období 30 – 34 °C, zatím co ostatní klimadata uvažují s průběhem teplot cca 11- 16 °C.

Z průměrných měsíčních hodnot (Obr. 5.22 a Tab. 5.7) je patrné, že všechny sady klimatických dat mají podobný průběh s maximálním rozdílem do 2 °C od skutečně naměřené hodnoty. Toto tvrzení neplatí pro měsíce srpen a listopad. V srpnu je propad skutečně naměřené průměrné teploty o 3,3 °C oproti nejvyšší hodnotě (RKR-Brno). V listopadu je naopak skutečně naměřený průměr vyšší oproti ostatním a je s maximálním rozdílem 3,5 °C oproti nejnižší hodnotě (RKR-Rapotice).

Nejvyšší průměrná teplota za celý rok je v klimatických datech RKR-Brno (9,4 °C), následují skutečně naměřená data (9,1 °C), TMY2-Brno (8,6 °C) a nejnižší je v RKR-Rapotice (8,3 °C). Paradoxně se tak data pro konkrétní lokalitu (RKR-Rapotice) liší oproti skutečně naměřeným datům více, než zbývající dvě sady klimadat pro Brno.

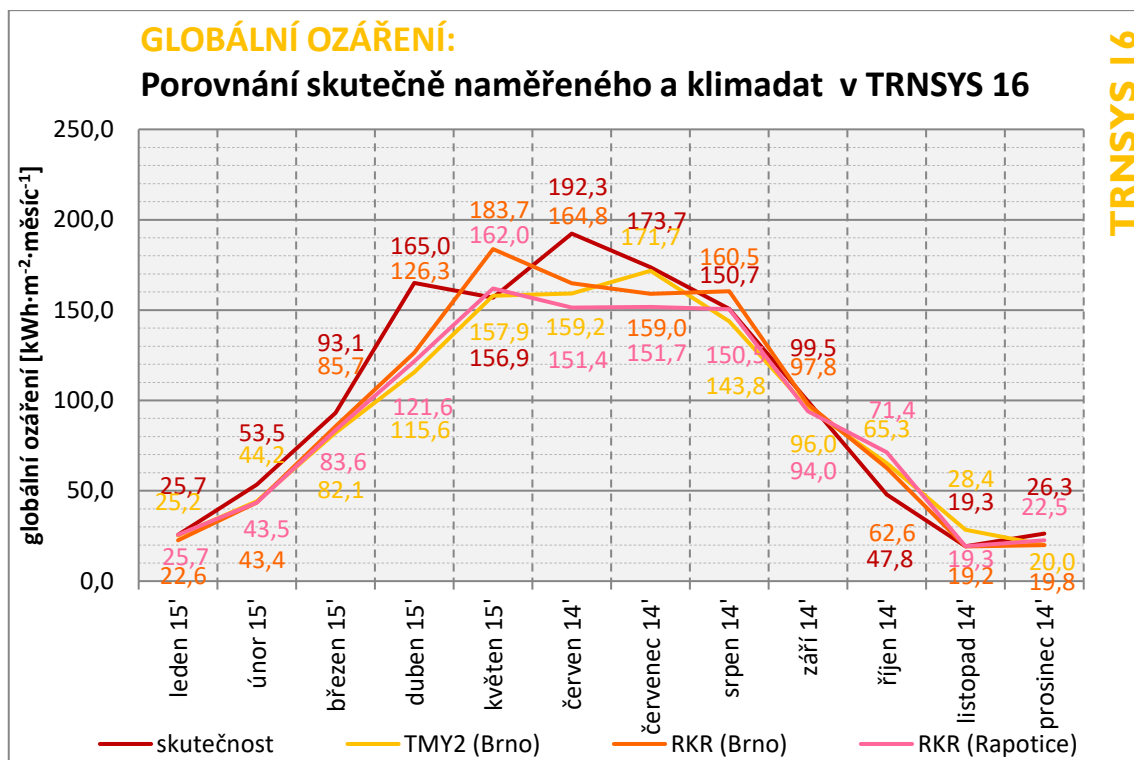


Obr. 5.22: TRNSYS 16 – Porovnání průměrných měsíčních skutečně naměřených venkovních teplot v Rapoticích a teplot klimadat vstupujících do TRNSYS (TMY2-Brno; RKR-Brno; RKR-Rapotice)

Tab. 5.7: TRNSYS 16 - Porovnání průměrných měsíčních skutečně naměřených venkovních teplot v Rapoticích a teplot klimadat vstupujících do TRNSYS (TMY2-Brno; RKR-Brno; RKR-Rapotice)

Průměrné měsíční venkovní teploty [°C]	leden 15'	únor 15'	březen 15'	duben 14'	květen 14'	červen 14'	červenec 14'	srpen 14'	září 14'	říjen 14'	listopad 14'	prosinec 14'	roční průměr
skutečnost	-2,7	1,2	5,0	9,1	13,0	17,7	20,4	16,8	14,7	10,5	6,2	-2,3	9,1
TMY2 (Brno)	-2,7	-0,5	3,8	8,9	13,9	16,8	18,6	18,2	14,2	9,2	3,4	-0,6	8,6
RKR (Brno)	-2,3	2,0	4,2	10,2	14,6	18,1	19,8	20,1	14,2	9,6	3,9	-2,1	9,4
RKR (Rapotice)	-2,6	1,2	3,3	9,5	12,8	16,6	18,5	18,9	12,7	8,5	2,7	-2,3	8,3

Další významnou složkou klimatických dat je sluneční ozáření. Na Obr. 5.23 a v Tab. 5.8 jsou skutečně naměřená data globálního ozáření na vodorovnou plochu složena z let 2014 a 2015 tak, aby ve svém rozsahu tvořili celý kalendářní rok od ledna do prosince, a jsou spočítány jejich měsíční součty. Ty jsou porovnány s globálním ozářením ostatních užitých klimatických dat.



Obr. 5.23: TRNSYS 16 - Porovnání skutečně naměřených měsíčních dávek globálního ozáření na vodorovnou plochu v Rapotcích a dávek z klimadat vstupujících do TRNSYS

Tab. 5.8: TRNSYS 16 - Porovnání skutečně naměřených měsíčních dávek globálního ozáření na vodorovnou plochu v Rapotcích a dávek z klimadat vstupujících do TRNSYS

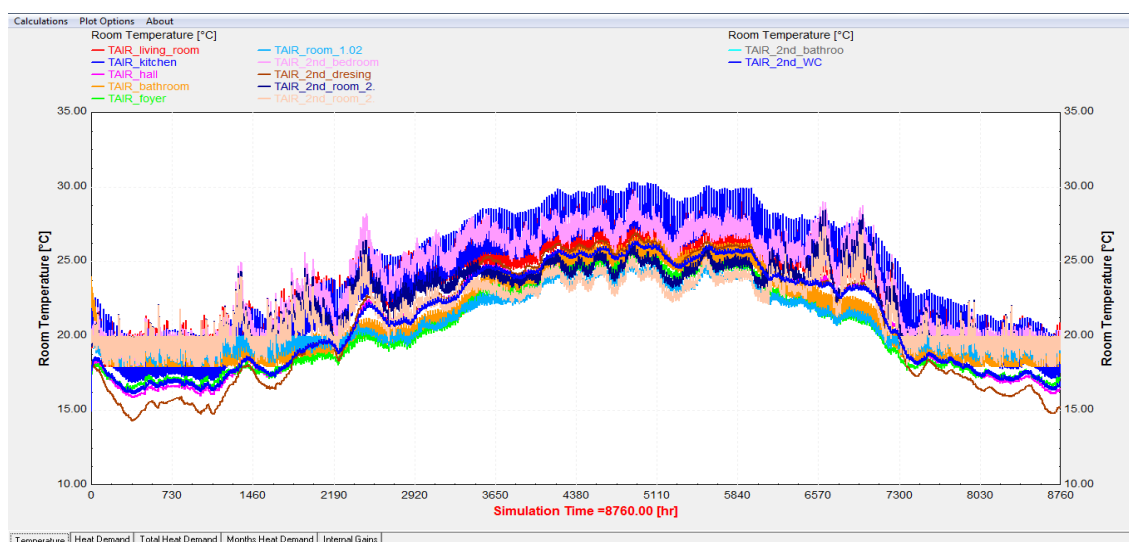
Dávka globálního slunečního ozáření [kWh·m ⁻² ·mésíc ⁻¹]	leden 15'	únor 15'	březen 15'	duben 15'	květen 15'	červen 14'	červenec 14'	srpen 14'	září 14'	říjen 14'	listopad 14'	prosinec 14'	průměr	roční úhrn
skutečnost	25,7	53,5	93,1	165,0	156,9	192,3	173,7	150,7	99,5	47,8	19,3	26,3	100,3	1204
TMY2 (Brno)	25,2	44,2	82,1	115,6	157,9	159,2	171,7	143,8	96,0	65,3	28,4	20,0	92,4	1109
RKR (Brno)	22,6	43,4	85,7	126,3	183,7	164,8	159,0	160,5	97,8	62,6	19,2	19,8	95,5	1146
RKR (Rapotice)	25,7	43,5	83,6	121,6	162,0	151,4	151,7	150,5	94,0	71,4	19,3	22,5	91,4	1097

Ze zobrazení v předchozím grafu (Obr. 5.23) je zřejmé, že měsíční dávky globálního slunečního ozáření, se v jednotlivých klimatických sadách, rozcházejí v měsících duben až červenec. V měsíci dubnu vyskočila skutečně naměřená dávka oproti ostatním sadám o cca 40 kWh·m⁻² a v červnu o 30 kWh·m⁻².

Nejvyšší dávka globálního slunečního ozáření za celý rok je ve skutečně naměřených datech (1 204 kWh·m⁻²), následuje RKR-Brno (1 146 kWh·m⁻²), TMY2-Brno (1 109 kWh·m⁻²) a nejnižší je v RKR-Rapotice (1 097 kWh·m⁻²). Paradoxně se tak opět data pro konkrétní lokalitu (RKR-Rapotice) liší oproti skutečně naměřeným datům více, než zbývající dvě sady klimadat pro Brno.

5.4.3 Výsledky

Dynamický simulační software TRNSYS není primárně určen pouze pro celkové energetické hodnocení budov, ale má mnohem širší spektrum použití a to v různých odvětvích. Z tohoto důvodu není výsledkem simulace jakýsi přehledný formulář, ale uživatel si může zvolit z nepřeberného množství výsledků, které bude sledovat, jako např. teploty vzduchu v jednotlivých zónách (*Obr. 5.24*), tepelné ztráty zón, teploty vzduchu vycházející ze zemního výměníku tepla, atd. Pro celý dynamický výpočet je nastaven hodinový krok během celého roku (8760 hodin) a je tak patrné, jak se budova chová v jakoukoliv dobu.



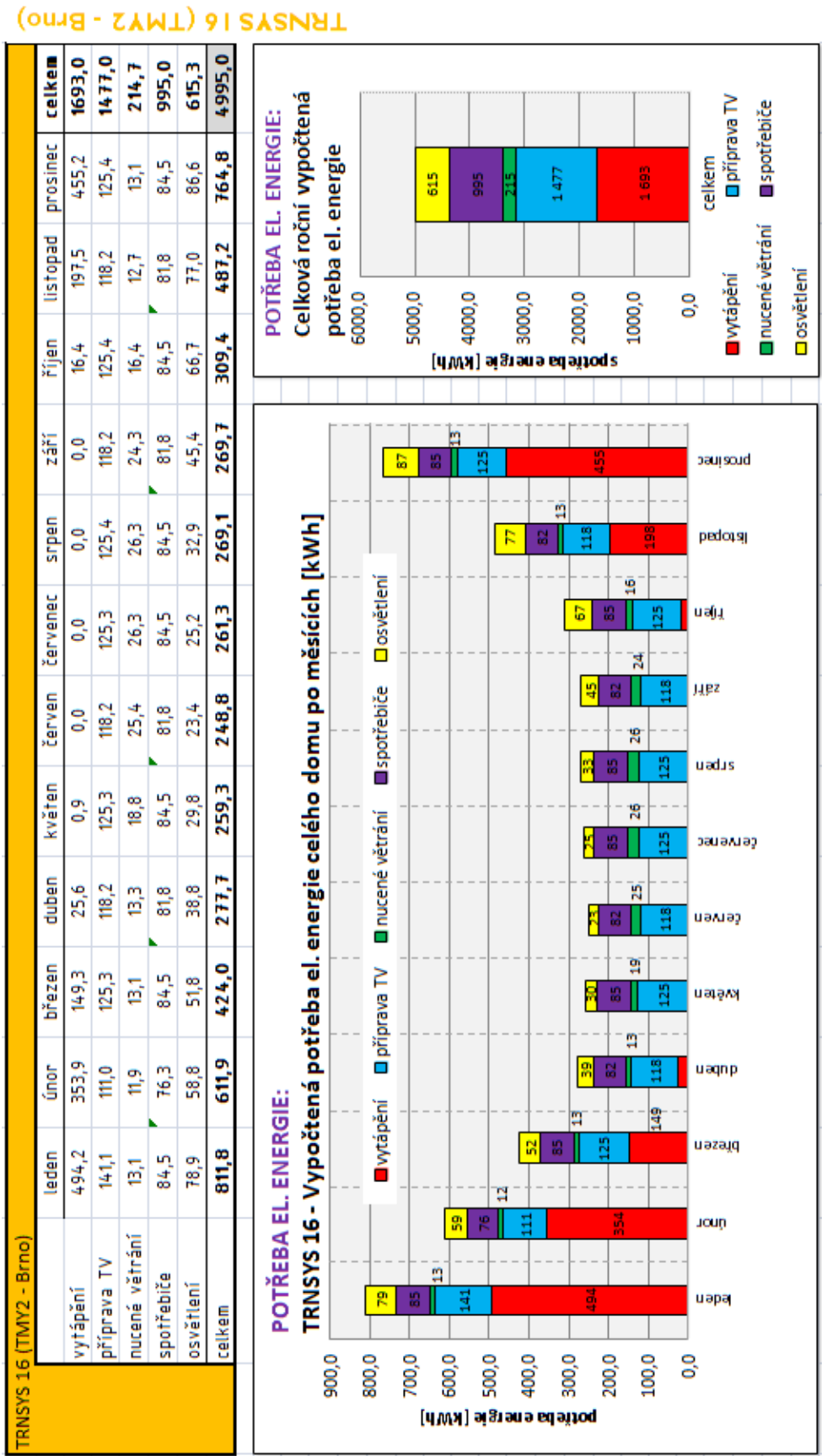
Obr. 5.24: TRNSYS 16 – Průběh teplot vnitřního vzduchu v jednotlivých zónách (místnostech)

V těchto porovnáních byl kladen důraz na vypočtenou celkovou spotřebu energie domu, která je zobrazena na *Obr. 5.25* až *Obr. 5.28*.

Na *Obr. 5.25* je vyhodnocena v TRNSYS 16 (TMY2 - Brno) nasimulovaná roční spotřeba elektřiny domu, která dosahuje hodnoty 4 995 kWh.

Nejvyšší podíl (33,9 %) na spotřebě domu má vytápění (1 693 kWh), které za těchto podmínek dosahuje značně nižších hodnot oproti skutečnosti. Za vytápěním následuje příprava teplé vody (1 477 kWh = 29,6 %), která byla počítána se spotřebou 25 l·osoba⁻¹·den⁻¹, jak je uvažováno v PHPP. Tato hodnota je nižší, než orientační hodnoty uvedené v ČSN 730331 (pro RD 35 - 55 l·osoba⁻¹·den⁻¹), ale ze zkušeností z předchozích porovnání se osvědčila. Dále spotřebiče (995 kWh = 19,9 %), jejichž

spotřeba nebyla simulována, protože je pouze odhadována podle podlahové plochy. Hodnota 995 kWh byla opět převzata z metodiky PHPP, jelikož je opět bližší skutečnosti než výpočet v ENERGII. Osvětlení díky dynamické simulaci a spínání i podle dávky slunečního ozáření, reflektuje skutečnost dřívějšího stmívání v zimě (potřeba svítit dříve než v létě) a má proměnou spotřebu během roku. Dosahuje hodnoty 615,3 kWh, což představuje 12,3 %. Intenzita nuceného větrání je ovlivněna teplotou vnitřního vzduchu, kdy při $\theta_{\text{air},i} > 25^{\circ}\text{C}$ se zdvojnásobí z $55,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ na $111 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, čímž se i zvýší spotřeba energie ventilátorů. Nucené větrání tedy dosahuje hodnoty $214,7 \text{ kWh} = 4,3 \%$.



Obr. 5.25: TRNSYS 16 (TMY2 – Brno) - Vypočtená spotřeba elektřiny celého domu

Pro srovnání simulací s různými klimatickými daty stejné lokality je následně užito dat **Referenčního klimatického roku (RKR)** pro **Brno**. Výsledek takto upravené simulace je na *Obr. 5.26*, kde je vyhodnocena vypočtená roční spotřeba elektřiny domu, která dosahuje hodnoty 5 389 kWh.

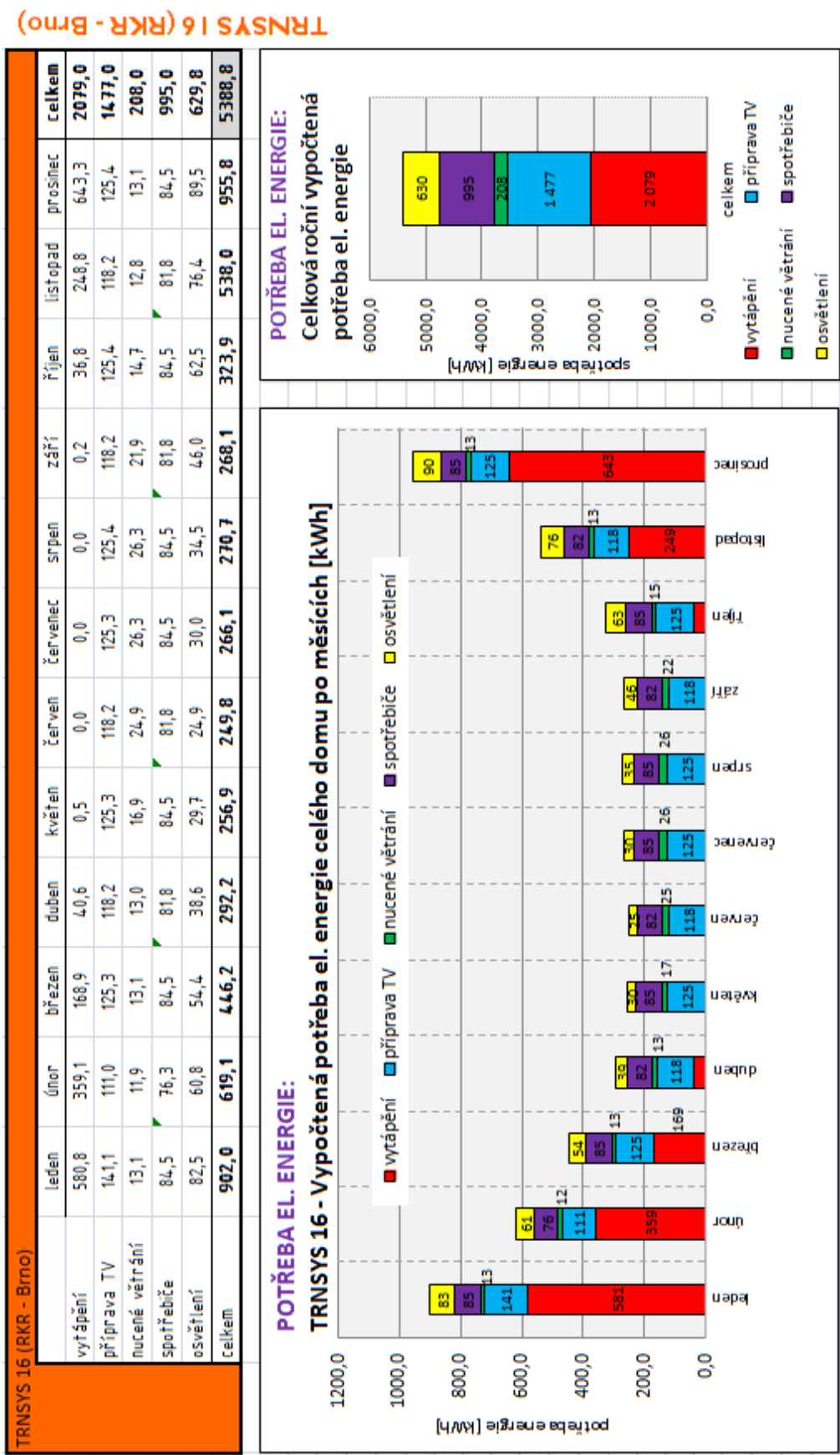
Nejvyšší podíl na celkové energetické potřebě domu má vytápění (2 079 kWh = 38,6 %). Následuje příprava teplé vody (1 477 kWh = 27,4 %), která se stejně jako spotřeba spotřebiči (995 kWh = 18,5 %) od předchozí simulace (díky metodice výpočtu) neliší. Osvětlení spotřebuje 630 kWh = 11,7 % a nucené větrání 208 kWh = 3,9 %.

K posouzení vlivu přesné lokalizace stavby je dále provedena simulace s daty **Referenčního klimatického roku (RKR)** pro konkrétní lokalitu **Rapotic**. Na *Obr. 5.27* je vyhodnocena vypočtená roční spotřeba elektřiny domu, která dosahuje hodnoty 5 619 kWh.

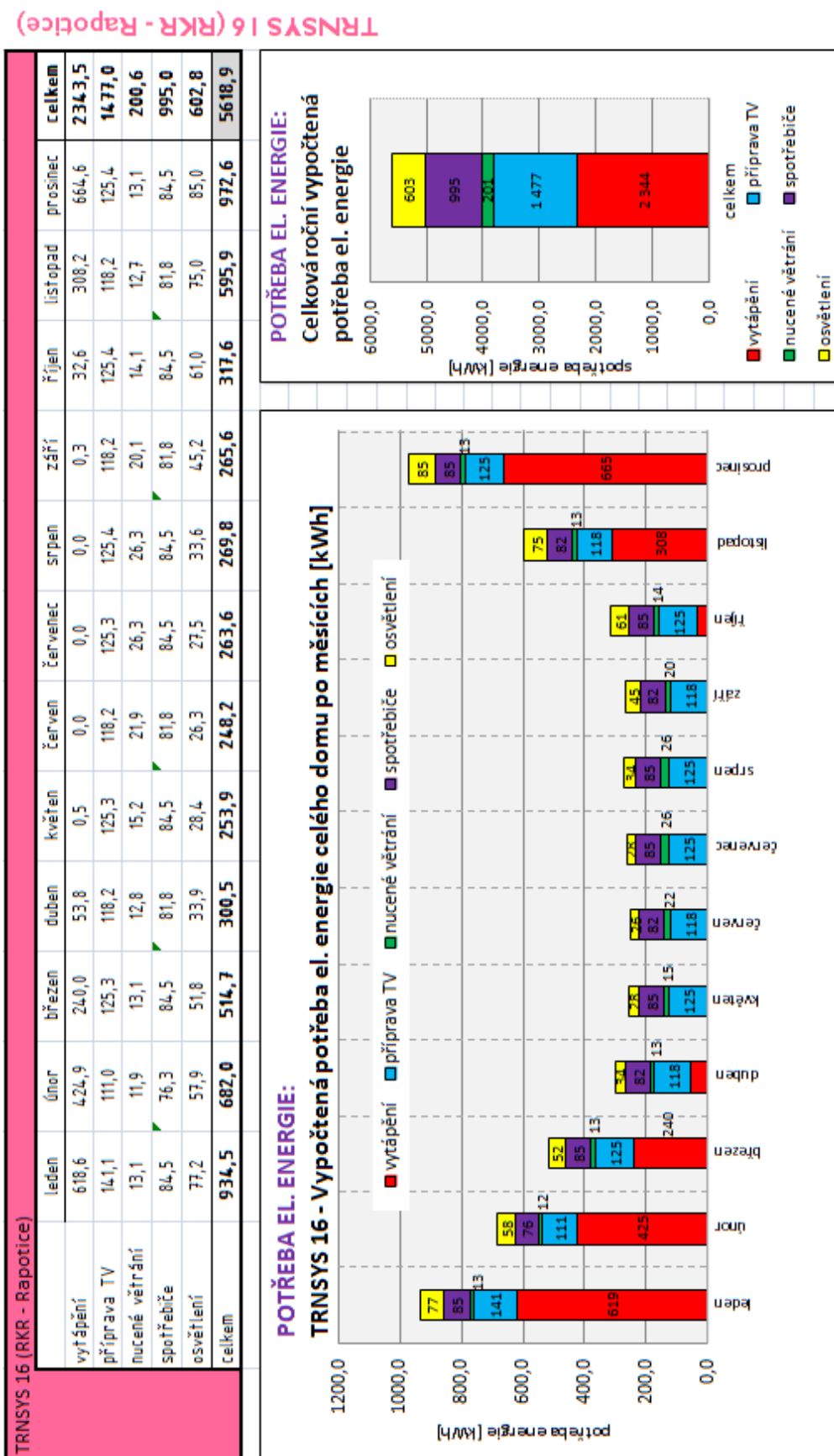
Stejně jako v předchozích případech je nejvyšší spotřeba energie na vytápění (2 344 kWh = 41,7 %). Následuje příprava teplé vody (1 477 kWh = 26,3 %), která se opět stejně jako spotřeba spotřebiči (995 kWh = 17,7 %) od předchozí simulace (díky metodice výpočtu) neliší. Osvětlení spotřebuje 603 kWh = 10,7 % a nucené větrání 201 kWh = 3,6 %.

Nakonec jsou vložena **skutečně naměřená klimatická data** v **Rapoticích**, tak aby simulace co nejvěrohodněji reflektovala reálný stav. Výsledná nasimulovaná roční spotřeba elektřiny domu je zobrazena na *Obr. 5.28* a dosahuje hodnoty 5 437 kWh.

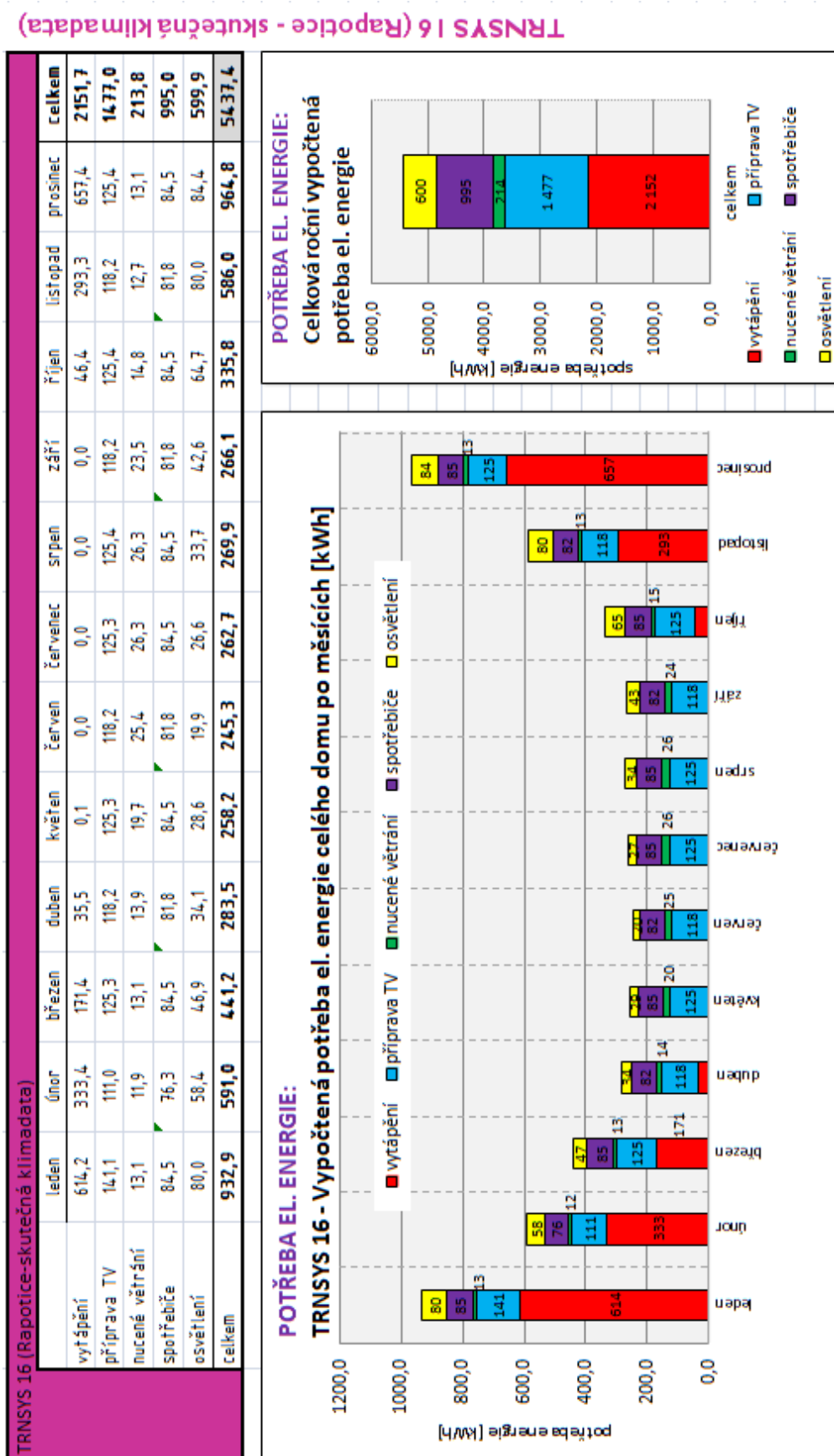
I v tomto případě je nejvyšší spotřeba energie na vytápění (2 152 kWh = 39,6 %). Následuje příprava teplé vody (1 477 kWh = 27,2 %), která se znovu stejně jako spotřeba spotřebiči (995 kWh = 18,3 %) od předchozí simulace (díky metodice výpočtu) nemění. Osvětlení spotřebuje 600 kWh = 11,0 % a nucené větrání 214 kWh = 3,9 %.



Obr. 5.26: TRNSYS 16 (RKR – Brno) - Vypočtená spotřeba elektriny celého domu



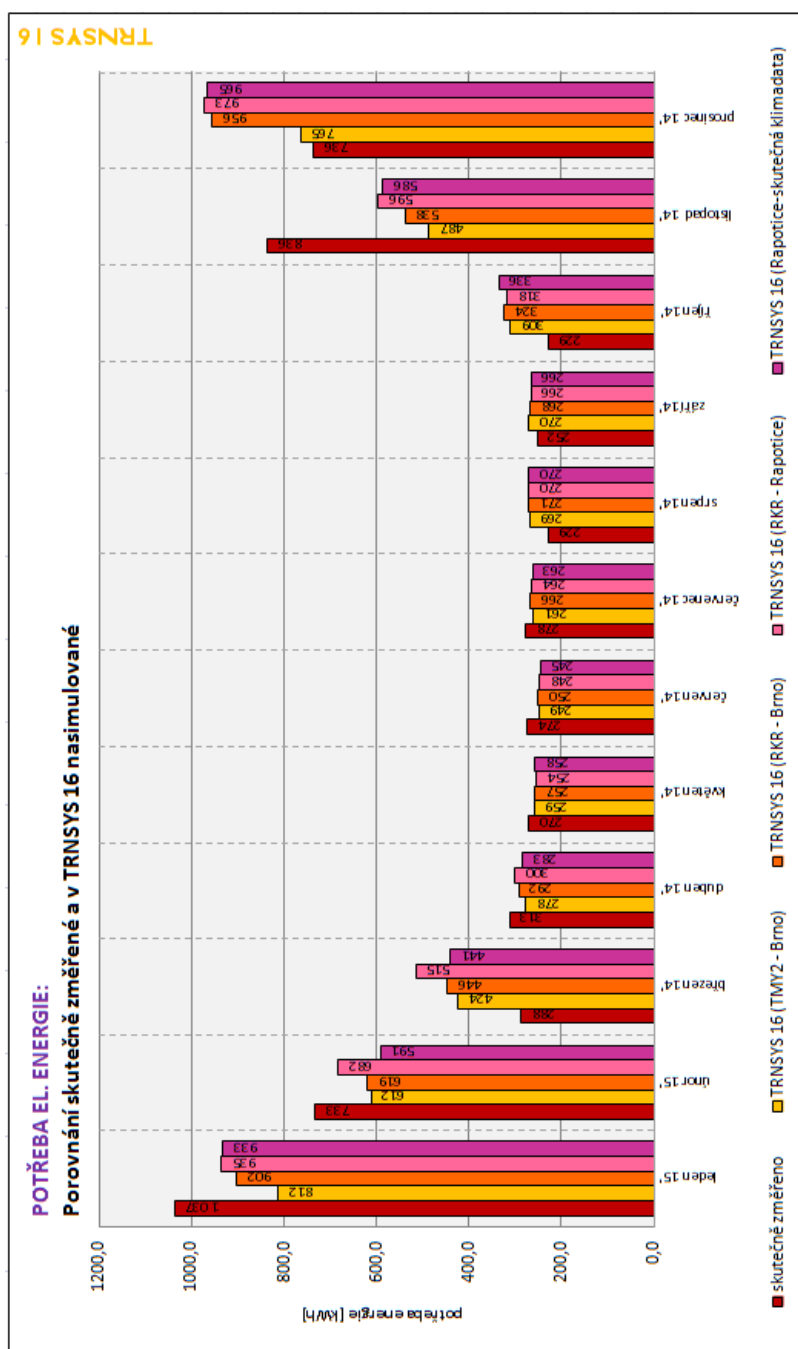
Obr. 5.27: TRNSYS 16 (RKR - Rapotice) - Vypočtená spotřeba elektriny celého domu



Obr. 5.28: TRNSYS 16 (skutečná klimadata) - Vypočtená spotřeba elektřiny celého domu

5.4.4 Porovnání a rozbor

Na Obr. 5.29 jsou porovnávány **skutečně neměřené měsíční spotřeby energie** s výsledkem simulace v TRNSYS 16 s několika užitými sadami klimatických dat: **TMV2**-(*Typical Meteorological Year, Version 2*) pro **Brno**, **Referenční klimatický rok (RKR)** pro **Brno**, **Referenční klimatický roku (RKR)** pro konkrétní lokalitu **Rapotice** a nakonec jsou vložena **skutečně naměřená klimatická data v Rapoticích**. Konkrétně jde o celkovou energetickou náročnost, kdy jsou porovnané měsíční skutečné spotřeby elektřiny celého domu s potřebami nasimulovanými.



Obr. 5.29: TRNSYS 16 – Porovnání skutečně změřené spotřeby elektřiny celého domu v Rapoticích a výsledku simulace v programu TRNSYS 16

Z průběhu v grafu (*Obr. 5.29*) jsou patrné shody výsledků ve střední části roku (duben – září), zatímco v zimním období se projevuje významný element – vytápění. Vlivem potřeby energie na vytápění se výsledky v listopadu až březnu rozcházejí.

Ve skutečně naměřených datech je zarážející již zmiňovaný značný nárůst potřeby energie v listopadu a naopak nižší spotřeba v prosinci (pravděpodobně i částečně způsobeno brzkým (27.10.) a pozdním (4.12.) odečtem ovlivňující listopad a přilehlé měsíce). Z ostatních průběhů výsledků je zřejmé, že v téměř každém měsíci poskytuje simulace s užitými daty TMY2-Brno nižší výsledek potřeby energie, než při užití RKR-Brno. Při použití přesné lokality, za pomoci klimadat RKR-Rapotice, se nasimulované hodnoty oproti Brnu ještě zvýší, což je očekávaný výsledek s důvodu vědomí méně příznivých klimatických dat Vysočiny. Po zanesení skutečně naměřených vnějších klimatických podmínek dochází k mírnému snížení s čehož se dá odvodit, že skutečné klimatické podmínky v letech 2014 a 2015 byly pro energetickou náročnost budovy příznivější, než uvažuje Referenční klimatický rok.

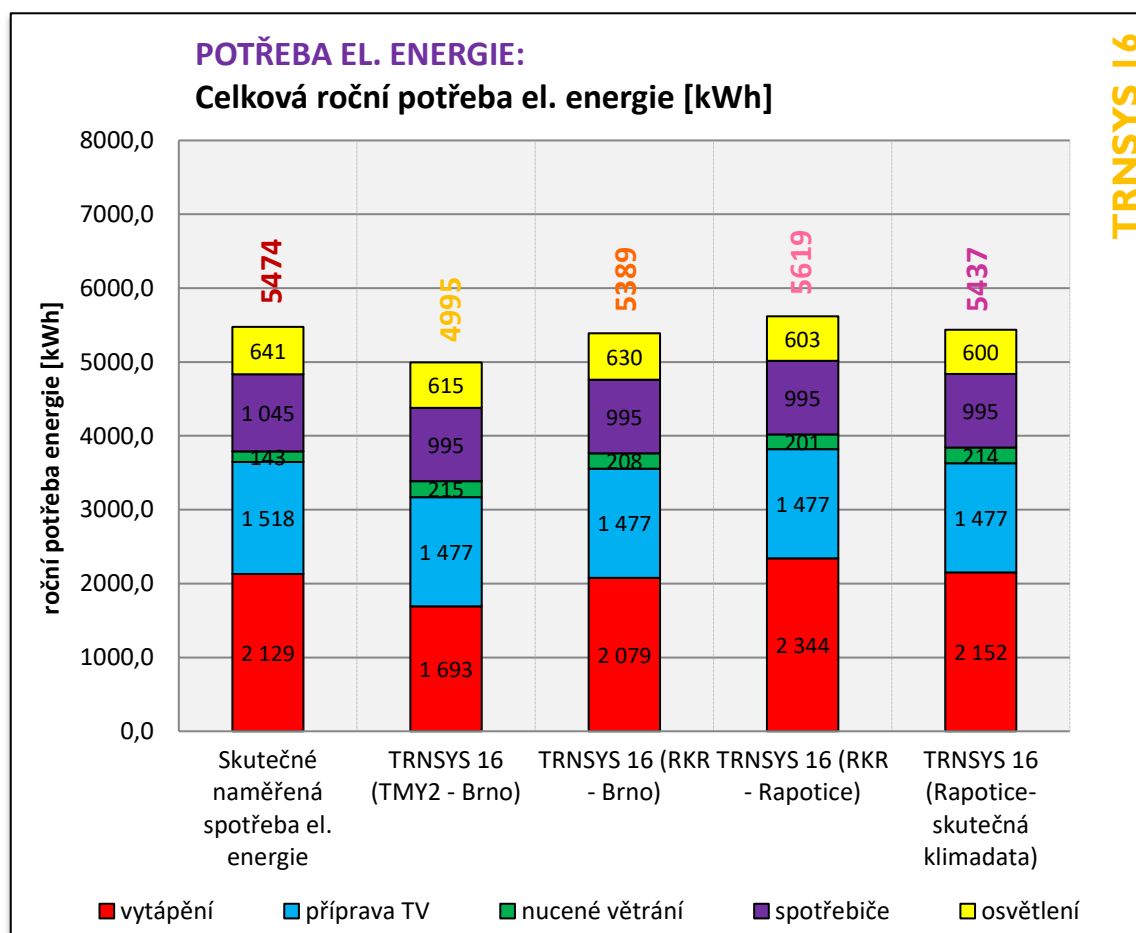
Rozdíly konkrétních skupin spotřeby jsou na *Obr. 5.30*, kde je porovnána celková roční spotřeba elektřiny domu, která je rozdělena do již zmiňovaných pěti základních skupin a ve výsledku se liší od skutečně naměřených hodnot (základ pro procentuální vyjádření) o -479,4 kWh = -8,8 % pro data TMY2-Brno, respektive o -85,6 kWh = -1,6 % pro data RKR-Brno, o 144,5 kWh = 2,6 % pro data RKR-Rapotice a o -37 kWh = -0,7 % po vložení skutečně naměřených klimatických dat.

U jednotlivých skupin jsou rozdíly následující (*Tab. 5.9*):

Tab. 5.9: TRNSYS 16 - Rozdíly mezi skutečně naměřenými daty a simulací v TRNSYS

	skutečně změřeno [kWh]	vypočteno v TRNSYS 16 (TMY2-Brno) [kWh]	rozdíl [kWh]	procentní rozdíl	Vypočteno v TRNSYS 16 (RKR-Brno) [kWh]	rozdíl [kWh]	procentní rozdíl
vytápění	2 128,5	1 693,0	-435,5	-20,5 %	2 079,0	-49,5	-2,3 %
příprava TV	1 517,6	1 477,0	-40,6	-2,7 %	1 477,0	-40,6	-2,7 %
nucené větrání	142,6	214,7	72,1	50,6 %	208,0	65,4	45,9 %
spotřebiče	1 044,9	995,5	-49,9	-4,8 %	995,0	-49,9	-4,8 %
osvětlení	640,7	615,3	-25,4	-4,0 %	629,8	-10,9	-1,7 %
celkem	5 474,4	4 995,0	-479,4	-8,8 %	5 388,8	-85,6	-1,6 %

	skutečně změřeno [kWh]	Vypočteno v TRNSYS 16 (RKR-Rapotice) [kWh]	rozdíl [kWh]	procentní rozdíl	vypočteno v TRNSYS 16 (skutečná klimadata) [kWh]	rozdíl [kWh]	procentní rozdíl
vytápění	2 128,5	2 343,5	215,0	10,1 %	2 151,7	23,2	1,1 %
příprava TV	1 517,6	1 477,0	-40,6	-2,7 %	1 477,0	-40,6	-2,7 %
nucené větrání	142,6	200,6	58,0	40,7 %	213,8	71,2	49,9 %
spotřebiče	1 044,9	995,0	-49,9	-4,8 %	995,0	-49,9	-4,8 %
osvětlení	640,7	602,8	-37,9	-5,9 %	599,9	-40,8	-6,4 %
celkem	5 474,4	5 618,9	144,5	2,6 %	5 437,4	-37,0	-0,7 %



Obr. 5.30: TRNSYS 16 - Porovnání celkové změřené roční spotřeby elektřiny se simulací v TRNSYS 16 (rozdělení do 5 hlavních kategorií)

Metodikou výpočtu potřeby energie na přípravu teplé vody a spotřebu spotřebičů, se jejich výsledky v jednotlivých simulacích nemění a průběh výpočtu na ně nemá vliv.

Simulací měněnou a nejvýznamnější kategorií je vytápění. To se oproti skutečnosti a dříve provedeným výpočtům v PHPP a ENERGIE odlišuje v tom, že jeho potřeba začíná již v říjnu a končí až v dubnu. Dochází tedy k rozšíření období, kdy je

potřeba budovu vytápět, i když v některých případech (TMY2-Brno, RKR-Brno) i tak dochází ke snížení vypočtené spotřeby, než byla skutečně naměřená. V této kategorii dochází k největším absolutním rozdílům oproti skutečnosti (rozdíly v rozmezí – 435,5 až +215,0 kWh·rok⁻¹), ovšem vzhledem k velikosti celkové roční spotřeby na vytápění to představuje -20,5 % až +10,1 %. Nejbližší výsledek ke skutečnosti vychází při simulaci s vloženými skutečně naměřenými daty (rozdíl 23,2 kWh·rok⁻¹ = 1,1 %).

U nuceného větrání bylo pracováno s informací obyvatel domu, že VZT větrání je v převážné většině roku v provozu v režimu č. 1 (55,5 m³·h⁻¹) a pouze v létě v režimu č. 2 (111 m³·h⁻¹). V simulacích bylo tedy uvažováno s proměnnou intenzitou větrání v závislosti na teplotě vnitřního vzduchu, kdy při $\theta_{\text{air},i} > 25$ °C se zdvojnásobí z 55,5 m³·h⁻¹ na 111 m³·h⁻¹, čímž se i zvýší spotřeba energie ventilátorů. Podle výsledků je zřejmé, že takto nastavený výpočet není v reálu takto skutečně provozován, protože výsledky přesahují o 58,0 až 72,1 kWh·rok⁻¹, což představuje rozdíl od skutečnosti 40,7 % až 50,6 %.

5.4.5 Dílčí závěr

V předchozí části došlo k porovnání skutečně naměřené ENB a dynamických simulací v programu TRNSYS. Ten umožňuje uživateli definovat problém na libovolné úrovni podrobnosti. Jinou váhu může mít přesnost součinitele prostupu tepla u výpočtu ENB a jinou pro výpočet výměníku tepla. Některé vstupy (např. klimatická data pro danou lokalitu) jsou objektivně naměřeny. U jiných parametrů (např. proměnné užívání budovy) se do konečných výsledků promítne míra jejich subjektivního nastavení. Simulační model byl sestaven tak, aby co nejvíce odpovídal reálnému stavu, což bylo potvrzeno validací se skutečně naměřenými daty.

Výpočet energetické bilance domu, v programu TRNSYS, dává při užití klimatických dat TMY2-Brno, uspokojivý výsledek (rozdíl od skutečnosti 8,8 %), který se po užití RKR-Brno ještě zpřesní. Při užití klimatických dat konkrétní lokality RKR-Rapotice se ENB od skutečnosti drobně vzdálí, ale to je očekávaný jev méně příznivých klimatických podmínek Vysočiny. Nicméně po vložení skutečně naměřených klimatických podmínek se výsledek simulace přiblíží skutečnosti až na minimální rozdíl -0,7 %, což zajišťuje garanci kvalitně sestaveného simulačního modelu dobře reflektující skutečnou ENB.

TRNSYS je simulační nástroj sloužící pro modelování nejširšího spektra problémů a jeho univerzálnost je vykoupena poměrně náročným způsobem formulace

problému a tvorby modelu, což zvyšuje celkové nároky na uživatele. V TRNSYSU je nutné definovat celý výpočet, k čemuž je zapotřebí se s programem dobře seznámit, což zabere desítky hodin studia. TRNSYS je tedy z uživatelského hlediska velice náročný a u širší odborné veřejnosti bude jen těžko hledat oblibu a následné využití.

5.5 Závěr k simulacím a jejich porovnání s experimentálním měřením

Tato kapitola se zabývala porovnáním výpočtů energetických potřeb pomocí PHPP 8.5, ENERGIE 2015LT a TRNSYS 16 s užitím několika výpočtových sad klimatických dat i dat skutečně naměřených.

PHPP 8.5

Výpočetní nástroj PHPP je primárně určen pro posouzení energetické náročnosti pasivních domů k čemuž používá svůj vlastní nenormový metodický postup výpočtu, vycházející ze složitých dynamických simulací. PHPP je zpracován v tabulkovém editoru MS Excel, který je uzamčen. Heslo pro uzamčení není poříto, takže velmi zkušený odborník může software modifikovat a do výpočtu zasahovat (nedoporučuje se).

Ve výpočtu bylo mimo jiné uvažováno s klimatickými daty, které jsou nabízené v [integrované knihovně klimadat](#) a nejbližší lokalitou je [Brno-venkov](#). Výpočet s těmito nabízenými klimadaty dává příznivý výsledek ENB (rozdíl 2,1 % oproti reálně změřeným hodnotám). Pro určení míry zpřesnění byla do nástroje vložena [skutečně naměřená klimatická data](#) v [Rapoticích](#), která měla nahrazena výpadky měření daty z RKR pro Rapotice. Tímto zpřesněním bylo dosaženo ještě většího přiblížení k reálně naměřené celkové spotřebě energie, od které se liší jen minimálně (v daném případě o 1,1 %). Velmi dobrá shoda panuje i pro spotřeby v jednotlivých kategoriích (vytápění, příprava TV, nucené větrání, spotřebiče, osvětlení) v každém měsíci.

ENERGIE 2015 LT

Výpočet ENB v programu ENERGIE vychází z platné legislativy. Jedná se o samostatný program, který funguje na principu kaskádovitém zobrazování oken, kde se zadávají patřičné údaje. Uživatel nemá možnost zasahovat do metodiky výpočtu. Výstupem tohoto výpočtu je tzv. průkaz energetické náročnosti budovy (PENB) a protokol o energetické náročnosti, který mimo jiné popisuje energetickou bilanci

objektu. Uživatelské prostředí programu je velmi přátelské, přehledné a zadávání vstupních dat má logické uspořádání. Ke každému parametru je dostupný podrobný komentář s nabídkou běžných hodnot.

Ve výpočtu bylo mimo jiné uvažováno s klimatickými daty, které jsou nabízené v [integrovaném katalogu teplot a sluneční energie](#) a nejbližší lokalitou je [Brno](#). Výpočet s těmito nabízenými klimadaty dává uspokojivý výsledek ENB (rozdíl 11,7 % oproti reálně změřeným hodnotám). Pro určení míry zpřesnění byla do nástroje vložena [skutečně naměřená klimatická data](#) v [Rapoticích](#). Tímto zpřesněním bylo dosaženo ještě většího přiblížení k reálně naměřené celkové spotřebě energie, od které se liší v daném případě o 7,7 %.

TRNSYS 16

Dynamický simulační software TRNSYS není primárně určen pouze pro celkové energetické hodnocení budov, ale má mnohem širší spektrum použití a to v různých odvětvích. Z tohoto důvodu není výsledkem simulace jakýsi přehledný formulář, ale uživatel si může zvolit z nepřeberného množství výsledků, které bude sledovat, jako např. teploty vzduchu v jednotlivých zónách, tepelné ztráty zón, teploty vzduchu vycházející ze zemního výměníku tepla atd. Práce v programu je založena na propojování parametrů mezi jednotlivými moduly (TYPE), z nichž každý simuluje jednu část celého systému. Univerzálnost programu je vykoupena poměrně náročným způsobem formulace problému a tvorby modelu, což zvyšuje celkové nároky na uživatele. V TRNSYSU je nutné definovat celý výpočet, k čemuž je zapotřebí se s programem dobře seznámit, což zabere desítky hodin studia. TRNSYS je tedy z uživatelského hlediska velice náročný a u širší odborné veřejnosti bude jen těžko hledat oblibu a následné využití.

Oproti předchozím výpočtům bylo v této dynamické simulaci užito více sad klimatických dat. Prvotní simulace použila programem preferovaná data z databáze Meteonormu (*TMY2-Typical Meteorological Year, Version 2*) pro [Brno](#) a rozdíl vypočtené ENB od skutečně naměřených hodnot je -8,8 %. Pro srovnání různých klimatických dat stejné lokality bylo následně užito dat [Referenčního klimatického roku \(RKR\)](#) pro [Brno](#) s rozdílem výsledku ENB -1,6 %. K posouzení vlivu přesné lokalizace stavby byla dále provedena simulace s daty [Referenčního klimatického roku \(RKR\)](#) pro konkrétní lokalitu [Rapotice](#), která se od reálné spotřeby energie liší o 2,6 %. Nakonec byla do simulace vložena [skutečně naměřená klimatická data](#) v [Rapoticích](#), jejíž výsledek věrohodně reflektuje reálný stav, od kterého se liší o pouhých -0,7 %. Takto

nepatrný rozdíl dává garanci kvalitně sestaveného simulačního modelu, který dobře reflektuje skutečnou ENB.

Vzhledem k dosaženým výsledkům a následnému porovnání lze konstatovat, že nejprůběžnější uživatelský komfort práce je v pořadí 1. ENERGIE, 2. PHPP a nakonec v 3. TRNSYS. Přesnost výsledků (po vložení skutečně naměřených klimadat), vůči skutečně naměřeným datům, je ovšem přesně v opačném pořadí (1. TRNSYS, 2. PHPP, 3. ENERGIE). U přesnosti výsledků, ale vždy záleží, k čemu dané výpočty slouží a jak přesné výsledky jsou potřebné. Pro energetického specialistu, který hodnotí ENB, je PHPP a ENERGIE velice vhodným pomocníkem. Potřebujeme-li ovšem při stanovení potřeby energie dodané do budovy podrobněji rozlišit různé zdroje, klimatická data, způsoby regulace, nastavení parametrů vnitřního prostředí a jeho užívání, musíme provést komplexní výpočet, který umožní tyto vlivy zohlednit. Pro zjištění vzájemné interakce těchto vlivů je nejlepší využití právě dynamické energetické simulace.

6 VLIV ARCHITEKTONICKO-KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ A PROVOZNÍCH REŽIMŮ NA ENB

Tato kapitola je věnována analýze RD pomocí počítačové simulace. Cílem výpočtové simulace je prokázat vztah mezi architektonicko-konstrukčním řešením a úpravou vnitřního prostředí na jedné straně a energetickou náročností budovy na straně druhé. Je pozorován vliv vybraných různých provozních režimů na spotřebu tepla na vytápění, chlazení, větrání a přehřívání interiéru.

Dynamická počítačová simulace využívá dobře prověřeného a kalibrovaného modelu v předchozí kapitole, konkrétně modelu v TRNSYS 16 s vloženými skutečně naměřenými hodinovými klimatickými daty, jehož shoda s reálně změřenou ENB je výborná (rozdíl -0,7 %). Ve všech případech jsou zachovány stejné zastavovací podmínky, geometrie stavby i parametry konstrukcí. Měněné jsou pouze provozní režimy vytápění, chlazení, větrání, stínění a clonění. Je pozorována jejich vzájemná interakce a vliv na celkovou ENB.

6.1 Vytápění

6.1.1 Materiál a metodika

Požadovaná teplota vnitřního vzduchu ve velké míře ovlivňuje potřebu tepla na vytápění. Proto byl zvolen tento faktor, kdy pro jednotlivé alternativní řešení byly měněné požadované teploty vnitřního vzduchu během otopného období. Popis jednotlivých variant je v *Tab. 6.1*.

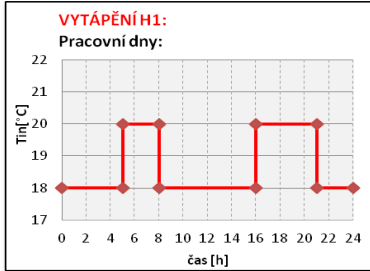
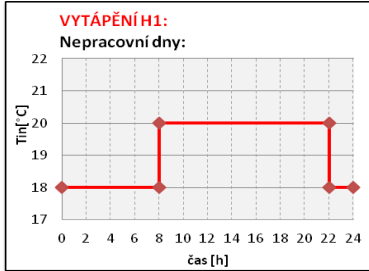
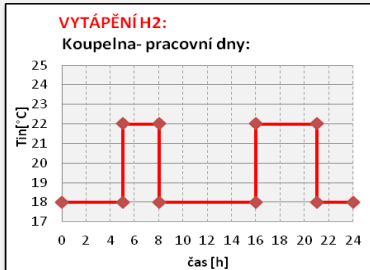
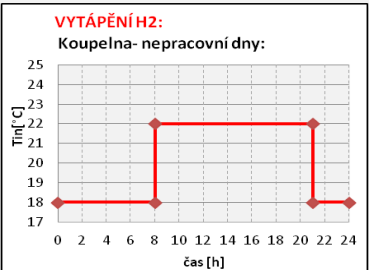
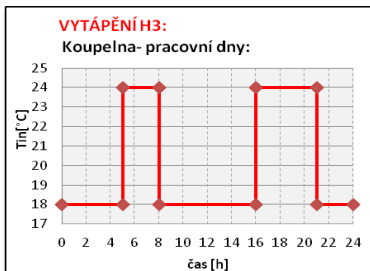
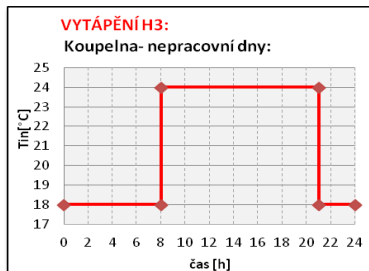
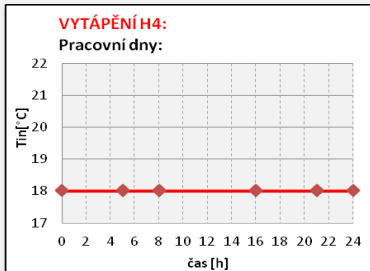
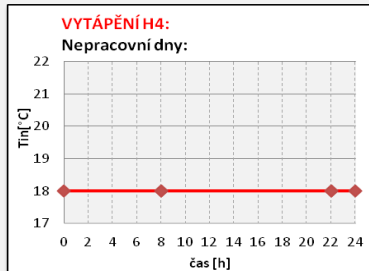
Varianta *T1* je stávající řešení, tak jak je ve skutečnosti provozováno vytápění objektu, tzn. že je zvolen režim pro pracovní a nepracovní dny, kdy je proměnná požadovaná teplota během dne se spodní hranicí 18 °C (nepřítomnost osob, nebo noc) a horní hranice je 20 °C (vytápění přes den v době přítomnosti osob).

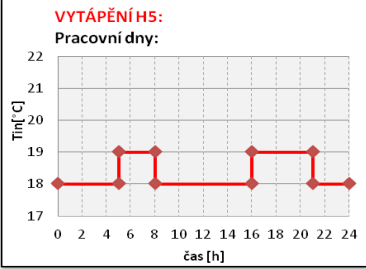
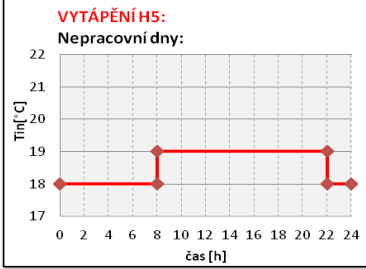
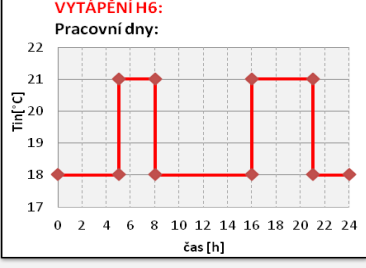
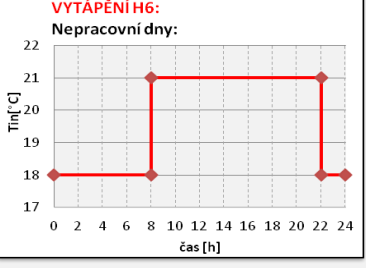
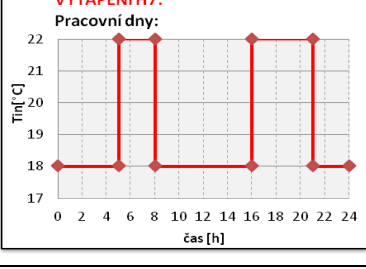
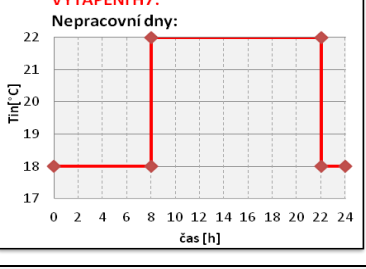
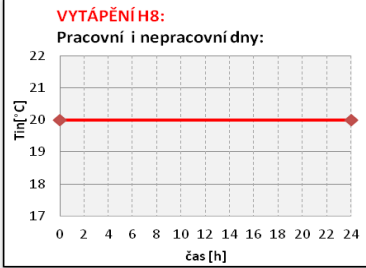
Varianta *T2* a *T3* uvažuje opět s denními režimy jako v *T1*, kdy je zkoumán vliv zvýšení požadované vnitřní teploty pouze v koupelnách na 22°C, resp. 24°C.

Varianty *T4* až *T7* uvažují s denními režimy jako v *T1*, ale se změněnou požadovanou teplotou vnitřního vzduchu 18, 19, 21 a 22 °C.

Varianta *T8* uvažuje s konstantním nepřetržitým vytápěním na teplotu 20 °C (tak jak bývá zjednodušeně uvažováno v jednodušších výpočtech pro celý dům, jako jedna teplotní zóna).

Tab. 6.1: VYTÁPĚNÍ – Popis jednotlivých variant

	ozn.	popis	požadovaná teplota vnitřního vzduchu θ_{ai} [°C]
TOPENÍ	T1_stávající	užití řídicích profilů vytápění se spodní hranicí 18 °C a horní hranicí 20°C 	<p>profily - max. 20 °C</p> 
	T2	užití řídicích profilů vytápění se spodní hranicí 18 °C a horní hranicí 20°C a pouze v koupelnách s horní hranicí 22 °C 	<p>koupelny: profily - max. 22 °C</p> 
	T3	užití řídicích profilů vytápění se spodní hranicí 18 °C a horní hranicí 20°C a pouze v koupelnách s horní hranicí 24 °C 	<p>koupelny: profily - max. 24 °C</p> 
	T4	užití řídicích profilů vytápění se spodní hranicí 18 °C a horní hranicí 18°C 	<p>profily - max. 18 °C</p> 

T5	<p>užití řídicích profilů vytápění se spodní hranicí 18 °C a horní hranicí 19°C</p> <p>VYTÁPĚNÍ H5: Pracovní dny:</p> 	<p>profile - max. 19 °C</p> <p>VYTÁPĚNÍ H5: Nepracovní dny:</p> 
T6	<p>užití řídicích profilů vytápění se spodní hranicí 18 °C a horní hranicí 21°C</p> <p>VYTÁPĚNÍ H6: Pracovní dny:</p> 	<p>profile - max. 21 °C</p> <p>VYTÁPĚNÍ H6: Nepracovní dny:</p> 
T7	<p>užití řídicích profilů vytápění se spodní hranicí 18 °C a horní hranicí 22°C</p> <p>VYTÁPĚNÍ H7: Pracovní dny:</p> 	<p>profile - max. 22 °C</p> <p>VYTÁPĚNÍ H7: Nepracovní dny:</p> 
T8	<p>nepřetržitě vytápění na 20 °C</p> <p>nepřetržitě 20 °C</p> <p>VYTÁPĚNÍ H8: Pracovní i nepracovní dny:</p> 	

6.1.2 Výsledky

Jelikož změna požadované teploty vnitřního vzduchu v místnosti pro topné období má z ENB vliv pouze na spotřebu energie na vytápění, tak je pozorován právě tento výsledek, jehož měsíční průběhy jsou zobrazeny v *Tab. 6.2*

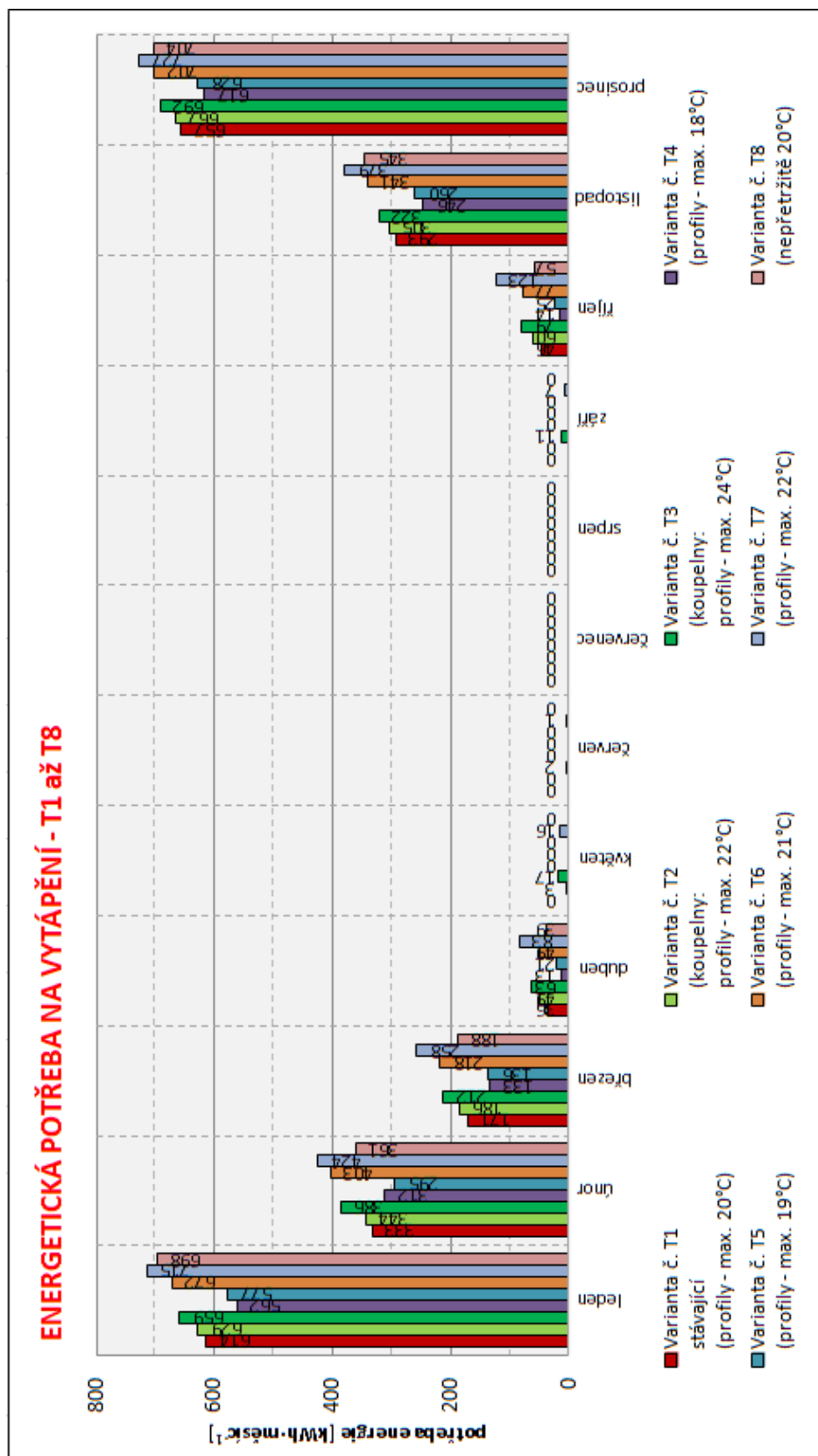
Tab. 6.2: VYTÁPĚNÍ – Vliv provozních režimů na potřebu energie na vytápění

VYTÁPĚNÍ - Provozní režimy													
	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	Celkem [kWh]
Varianta č. T1 stávající (profily - max. 20°C)	614	333	171	36	0	0	0	0	0	46	293	657	2150
Varianta č. T2 (koupelny: profily - max. 22°C)	629	344	186	49	3	0	0	0	0	60	305	667	2243
Varianta č. T3 (koupelny: profily - max. 24°C)	659	386	212	63	17	2	0	0	11	79	322	692	2443
Varianta č. T4 (profily - max. 18°C)	562	312	133	13	0	0	0	0	0	14	246	617	1897
Varianta č. T5 (profily - max. 19°C)	577	295	136	21	0	0	0	0	0	25	260	628	1942
Varianta č. T6 (profily - max. 21°C)	672	403	218	49	0	0	0	0	0	77	341	702	2462
Varianta č. T7 (profily - max. 22°C)	715	424	258	83	16	1	0	0	7	123	379	727	2733
Varianta č. T8 (nepřetržitě 20°C)	698	361	188	39	0	0	0	0	0	57	345	704	2392

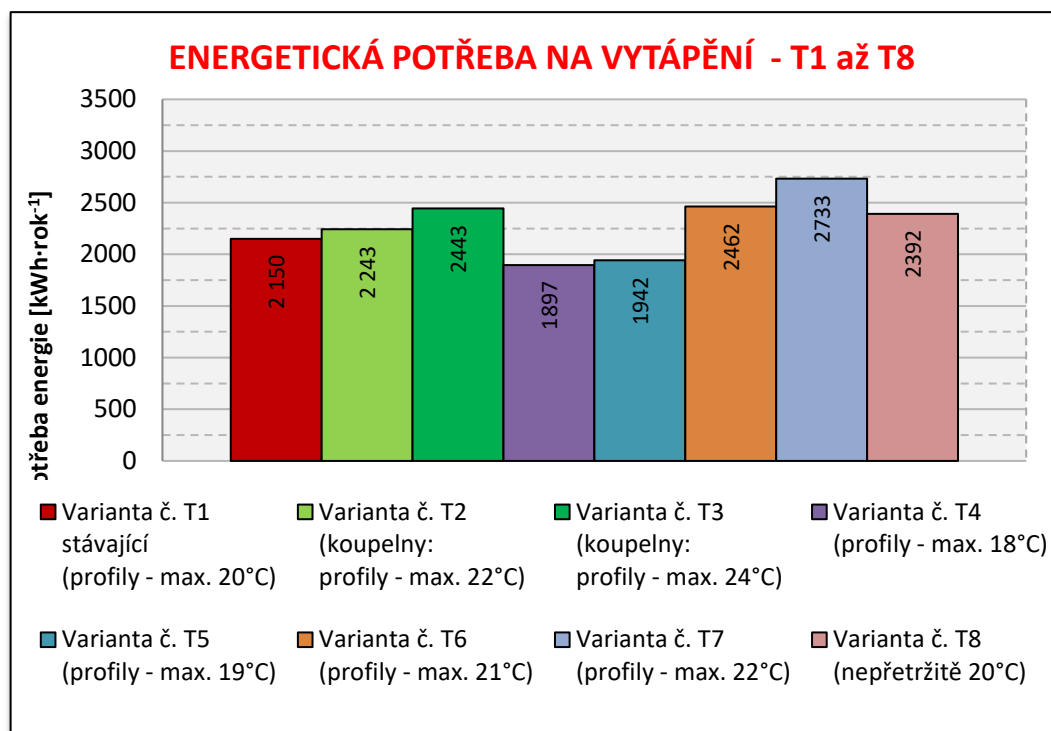
Příklad průběhu energetických spotřeb vytápění jednotlivých místností pro variantu T1 je zobrazen v 9.7 Příloha č. 7: VYTÁPĚNÍ – Průběh energetické spotřeby vytápění pro jednotlivé teplotní zóny.

6.1.3 Porovnání a rozbor

Na následujícím Obr. 6.1 jsou zobrazeny měsíční potřeby energie na vytápění pro uvažované jednotlivé provozní režimy T1 až T8, stejně jako na Obr. 6.2 jsou roční.



Obr. 6.1: VYTÁPĚNÍ – Porovnání měsíčních spotřeb energie na vytápění pro jednotlivé zvolené provozní režimy T1 až T8



Obr. 6.2: VYTÁPĚNÍ – Porovnání roční spotřeby energie na vytápění pro jednotlivé zvolené provozní režimy T1 až T8

Tab. 6.3: VYTÁPĚNÍ - Rozdíly mezi provozními režimy T1 až T8

	Vypočtena roční spotřeba energie na vytápění [kWh]	rozdíl [kWh]	procentní rozdíl
Varianta č. T1 stávající (profily - max. 20°C)	2150	0,0	0,0 %
Varianta č. T2 (koupelny: profily - max. 22°C)	2243	93,0	4,3 %
Varianta č. T3 (koupelny: profily - max. 24°C)	2443	293,0	13,6 %
Varianta č. T4 (profily - max. 18°C)	1897	-253,0	-11,8 %
Varianta č. T5 (profily - max. 19°C)	1942	-208,0	-9,7 %
Varianta č. T6 (profily - max. 21°C)	2462	312,0	14,5 %
Varianta č. T7 (profily - max. 22°C)	2733	583,0	27,1 %
Varianta č. T8 (nepřetržitě 20°C)	2392	242,0	11,3 %

6.1.4 Dílčí závěr

Po srovnání výsledků lze konstatovat, že je vhodné nastavení řídicích režimů vytápění pro pracovní a nepracovní dny s proměnnou požadovanou teplotou během dne (dle přítomnosti osob, nebo den/noc), protože úspora oproti konstantnímu nepřetržitému vytápění na 20 °C je v daném případě 11,3 %. Stejně tak záleží na nepřetápění interiéru, protože každý stupeň navýšení nad 20°C s sebou přináší vyšší navýšení spotřeby energie (z 20 na 21°C = 14,5 %, na 22°C = 27,1 %) než snížení (z 20 na 19°C = -9,7 %, na 18°C = -11,8 %).

6.2 Chlazení

6.2.1 Materiál a metodika

V současnosti se v objektu nenachází žádné chladicí zařízení, to ovšem nic nemění na skutečnosti, že při konceptu pasivního domu jsou neodmyslitelné velké prosklené plochy k jihu, které díky solárním ziskům snižují potřebu tepla na vytápění. To ovšem také zvyšují riziko přehřívání interiéru v létě, a proto jsou nutná opatření k zachování teplotního komfortu. Jedním z aktivních opatření může být právě instalace chlazení, které bude mít vliv na spotřebu energie v letním období.

Při stávajícím stínění (1,3 m vyloženým slunolamen v 1NP a vnějšími žaluziemi s proměnným užíváním dle dávky slunečního ozáření a teploty vzduchu v interiéru – viz. kap. 6.5 *Stínění a clonění*) byla pro chlazení zvolena jednotlivá alternativní řešení, kdy byly měněny požadované maximální teploty vnitřního vzduchu během letního období. Popis jednotlivých variant je v Tab. 6.4.

Varianta CH1 je stávající řešení, kdy není instalováno žádné chlazení.

Varianta CH2 až CH6 uvažuje s chlazením pobytových místností (vč. kuchyně) na maximální teplotu vnitřního vzduchu 25, resp. 26, 27, 28 a 29 °C.

Tab. 6.4: CHLAZENÍ – Popis jednotlivých variant

	ozn.	popis	požadovaná teplota vnitřního vzduchu θ_{ai} [°C]
CHLAZENÍ	CH1_stávající	bez chlazení	bez chlazení
	CH2	chlazení na maximální teplotu vnitřního vzduchu pobytových místností 25 °C	max. 25 °C

CH3	chlazení na maximální teplotu vnitřního vzduchu pobytových místností 26 °C	max. 26°C
CH4	chlazení na maximální teplotu vnitřního vzduchu pobytových místností 27 °C	max. 27 °C
CH5	chlazení na maximální teplotu vnitřního vzduchu pobytových místností 28 °C	max. 28 °C
CH6	chlazení na maximální teplotu vnitřního vzduchu pobytových místností 29 °C	max. 29 °C

6.2.2 Výsledky

Změna požadované maximální teploty vnitřního vzduchu má z ENB vliv pouze na spotřebu energie na chlazení. Proto je pozorován právě tento výsledek, jehož měsíční průběhy jsou zobrazeny v *Tab. 6.5*.

Tab. 6.5: CHLAZENÍ – Vliv provozních režimů na potřebu energie na chlazení

CHLAZENÍ - Provozní režimy													
	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	Celkem [kWh]
Varianta č. CH1 stávající (bez chlazení)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Varianta č. CH2 (max. 25°C)	0	0	1	114	219	500	560	418	232	36	0	0	2080
Varianta č. CH3 (max. 26°C)	0	0	0	22	41	94	126	86	43	6	0	0	418
Varianta č. CH4 (max. 27°C)	0	0	0	6	13	49	83	54	16	2	0	0	223
Varianta č. CH5 (max. 28°C)	0	0	0	1	4	23	51	34	4	0	0	0	117
Varianta č. CH6 (max. 29°C)	0	0	0	0	0	9	26	20	1	0	0	0	57

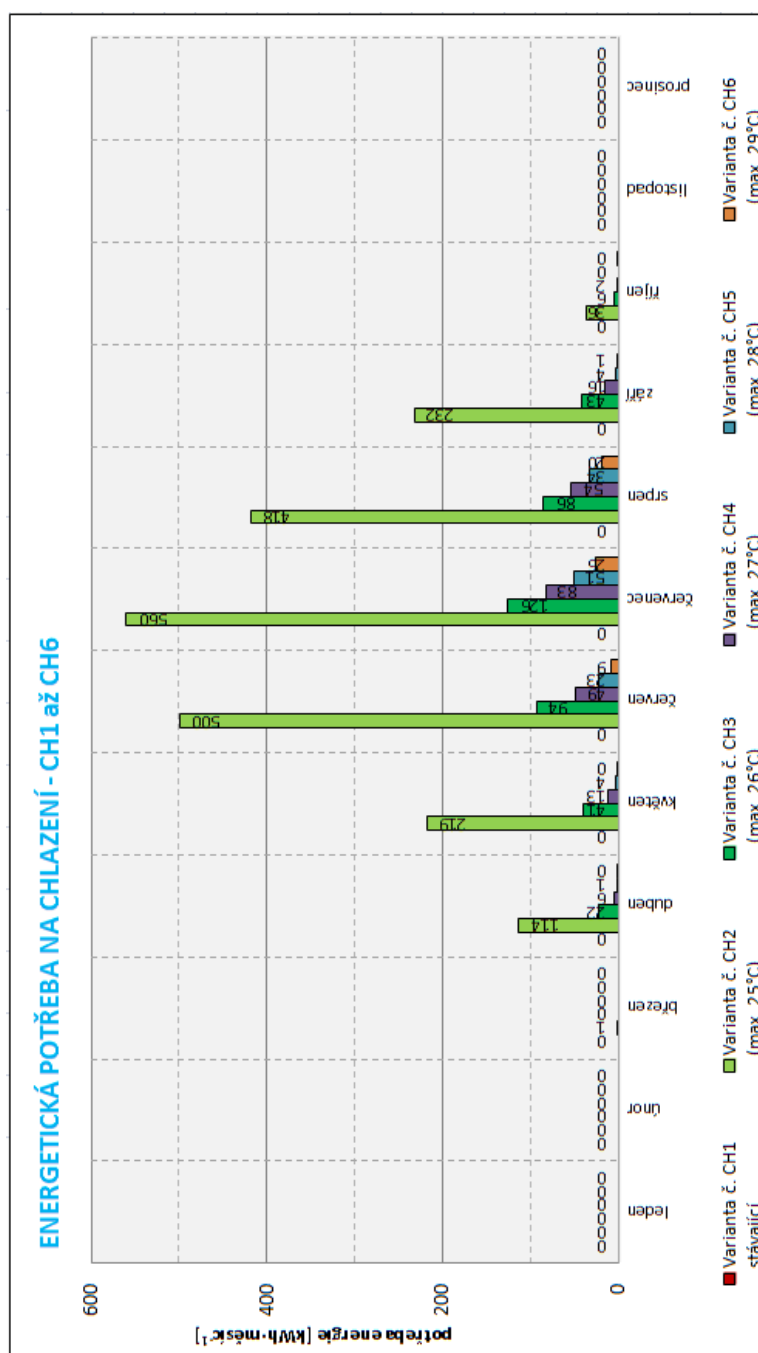
Průběh teplot vnitřního vzduchu místností pro variantu *CH1* (bez chlazení) je zobrazen v *Příloha č. 8: CHLAZENÍ – Průběh teplot v místnostech bez užití chlazení*. Maximální teplota v kritické místnosti (Obývací pokoj) dosahuje 31,1 °C a průměrná vnitřní teplota v místnosti za období červen až srpen je 27,0 °C).

Průběh teplot vnitřního vzduchu místností pro variantu *CH4* (max. 27 °C) je zobrazen v *Příloha č. 9: CHLAZENÍ – Průběh teplot v místnostech s užitým chlazením na maximální teplotu 27 °*.

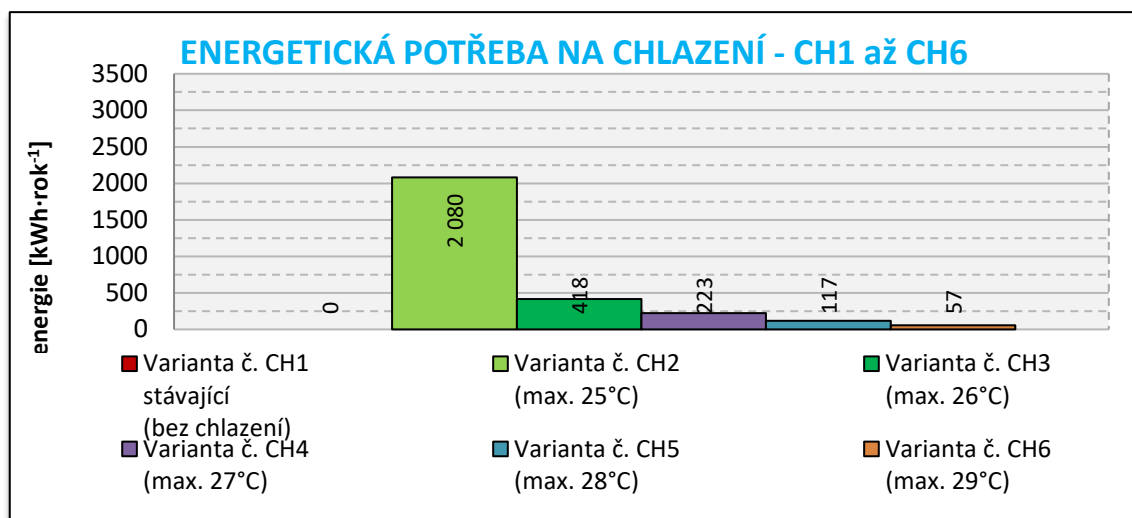
Příklad průběhu energetických spotřeb chlazení jednotlivých místností pro variantu CH4 je zobrazen v Příloha č. 10: CHLAZENÍ – Průběh energetické spotřeby vytápění (20°C) a chlazení (max. 27 °C) pro jednotlivé teplotní zóny.

6.2.3 Porovnání a rozbor

Na následujícím Obr. 6.3 jsou zobrazeny měsíční potřeby energie na vytápění pro uvažované jednotlivé provozní režimy CH1 až CH8, stejně jako na Obr. 6.4 jsou roční.



Obr. 6.3: CHLAZENÍ – Porovnání měsíčních spotřeb energie na chlazení pro jednotlivé zvolené provozní režimy CH1 až CH6



Obr. 6.4: CHLAZENÍ – Porovnání roční spotřeby energie na chlazení pro jednotlivé zvolené provozní režimy CH1 až CH6

Tab. 6.6: CHLAZENÍ - Rozdíly mezi provozními režimy CH1 až CH6

	Vypočtena roční spotřeba energie na chlazení [kWh]	rozdíl [kWh]
Varianta č. CH1 stávající (bez chlazení)	0	0
Varianta č. CH2 (max. 25°C)	2080	2080
Varianta č. CH3 (max. 26°C)	418	418
Varianta č. CH4 (max. 27°C)	223	223
Varianta č. CH5 (max. 28°C)	117	117
Varianta č. CH6 (max. 29°C)	57	57

6.2.4 Dílčí závěr

Po srovnání výsledků lze konstatovat, že stávající provozní režim bez chlazení je nevhodný, protože dochází k přehřívání interiéru. Tepelný komfort v letním období může zajistit chlazení, ale je velmi důležité, na jakou teplotu chlazení bude nastaveno. Např. chlazení na 25 °C se v daném případě jeví jako velmi neekonomické, protože dosahuje hodnoty spotřeby energie téměř jako vytápění. Rapidní snížení energetické náročnosti chlazení (o 1 662 kWh·rok⁻¹) přichází již při chlazení na 26 °C, ale jako nejefektivnější v poměru cena/výkon se jeví Varianta C4, tedy chlazení na 27 °C, kdy je energetická náročnost (223 kWh·rok⁻¹) akceptovatelná pro dosažení přijatelného teplotního komfortu.

6.3 Větrání

6.3.1 Materiál a metodika

Zabezpečení kvality vnitřního prostředí závisí na dostatečné intenzitě větrání, která má výrazný vliv na spotřebu energie na vytápění i chlazení, případně na teplotu vnitřního vzduchu v letním období bez chlazení. Při malé intenzitě větrání se uspoří energie na vytápění a větrání, ale hrozí nedodržení pohody vnitřního prostředí. Naopak při příliš intenzivním větrání dochází v zimním období k vysušování vzduchu a ke zbytečnému zvýšení energetické spotřeby a to bez účinku na zlepšení mikroklimatu. Proto je nutné nalézt ideální řešení, které bude akceptovatelné z obou těchto pohledů.

Z toho důvodu je analyzován vliv rozdílně definovaného množství větraného vzduchu (Tab. 6.7) na tepelnou pohodu kritické místnosti a ENB.

Varianta V1 je stávající řešení, tak jak je ve skutečnosti provozováno větrání objektu, tzn. že je užito kombinované větrání: $0,15 \text{ h}^{-1}$ a při $\theta_{ai} > 25 \text{ °C}$ je zvýšena intenzita výměny na $0,3 \text{ h}^{-1}$.

Obdobně jsou Varianty V2 až V4, kdy je kombinované větrání: $0,3 \text{ h}^{-1}$ a při $\theta_{ai} > 25 \text{ °C}$ je zvýšena intenzita výměny na $0,6 \text{ h}^{-1}$, resp. $0,45 \text{ h}^{-1}$ a při $\theta_{ai} > 25 \text{ °C}$ je $0,9 \text{ h}^{-1}$, resp. $0,6 \text{ h}^{-1}$ a při $\theta_{ai} > 25 \text{ °C}$ je $1,2 \text{ h}^{-1}$.

Jiné řešení je uvažováno u variant V5 až V10, kde je uvažováno konstantní větrání přes celý rok s intenzitou výměny vzduchu $0,15$; $0,3$; $0,45$; $0,6$; $0,9$ a $1,2 \text{ h}^{-1}$.

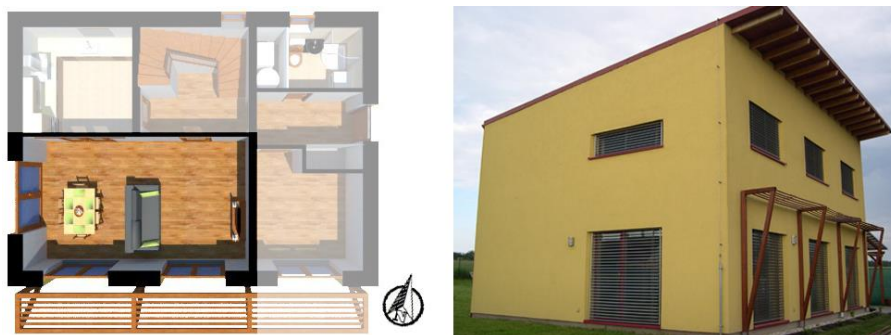
Tab. 6.7: VĚTRÁNÍ – Popis jednotlivých variant

	ozn.	popis	Intenzita větrání [-]
VĚTRÁNÍ	V1_stávající	kombinované větrání: $0,15 \text{ h}^{-1}$ a při $\theta_{ai} > 25 \text{ °C}$ je zvýšena intenzita výměny na $0,3 \text{ h}^{-1}$	$0,15 \text{ h}^{-1} / 0,3 \text{ h}^{-1} (\theta_{ai} > 25 \text{ °C})$
	V2	kombinované větrání: $0,3 \text{ h}^{-1}$ a při $\theta_{ai} > 25 \text{ °C}$ je zvýšena intenzita výměny na $0,6 \text{ h}^{-1}$	$0,3 \text{ h}^{-1} / 0,6 \text{ h}^{-1} (\theta_{ai} > 25 \text{ °C})$
	V3	kombinované větrání: $0,45 \text{ h}^{-1}$ a při $\theta_{ai} > 25 \text{ °C}$ je zvýšena intenzita výměny na $0,9 \text{ h}^{-1}$	$0,45 \text{ h}^{-1} / 0,9 \text{ h}^{-1} (\theta_{ai} > 25 \text{ °C})$
	V4	kombinované větrání: $0,6 \text{ h}^{-1}$ a při $\theta_{ai} > 25 \text{ °C}$ je zvýšena intenzita výměny na $1,2 \text{ h}^{-1}$	$0,6 \text{ h}^{-1} / 1,2 \text{ h}^{-1} (\theta_{ai} > 25 \text{ °C})$
	V5	konstantní větrání během celého roku $0,15 \text{ h}^{-1}$	$0,15 \text{ h}^{-1}$
	V6	konstantní větrání během celého roku $0,3 \text{ h}^{-1}$	$0,3 \text{ h}^{-1}$
	V7	konstantní větrání během celého roku $0,45 \text{ h}^{-1}$	$0,45 \text{ h}^{-1}$
	V8	konstantní větrání během celého roku $0,6 \text{ h}^{-1}$	$0,6 \text{ h}^{-1}$

V9	konstantní větrání během celého roku $0,9 \text{ h}^{-1}$	0,9 h^{-1}
V10	konstantní větrání během celého roku $1,2 \text{ h}^{-1}$	1,2 h^{-1}

Kritická místnost je prostor s předpokládanou nejvyšší tepelnou zátěží, čemuž odpovídá obývací pokoj v 1NP, který je situován v jihozápadním rohu objektu v 1NP. Jedná se o společný prostor jídelny a obývacího pokoje, který má dvě francouzská okna (8 m^2) orientovaná na jih a jedno (5 m^2) na západ. Všechna okna jsou opatřena vnějšími žaluziemi a na jihu je navíc pevná dřevěná markýza s přesahem 1.3 m, *Obr. 6.5*.

V této místnosti je sledována nejvyšší teplota vnitřního vzduchu během celého roku a dále pak průměrná teplota v nejkritičtějším letním období, tzn. během 3 měsíců (červen až srpen).



Obr. 6.5: VĚTRÁNÍ – Specifikace kritické místnosti

6.3.2 Výsledky

Jelikož má změna intenzity větrání vliv jak na tepelnou pohodu v interiéru, tak i na energetickou spotřebu vytápění a větrání (chlazení není v této části uvažováno), tak ve výsledkové tabulce *Tab. 6.8* jsou shrnuty roční spotřeby energie včetně neměnných hodnot chlazení, přípravy teplé vody, spotřebičů a osvětlení. Tento postup je volen z důvodu, aby součet pouze vytápění a větrání nezaváděl další mezihodnotu, ale abychom měli k dispozici součet spotřeby energie pro celou budovu, a tím byla lepší orientace v porovnání výsledků různých kapitol.

Průběh teplot vnitřního vzduchu místností pro variantu *VI* je zobrazen v *Příloha č. 8: CHLAZENÍ – Průběh teplot v místnostech bez užití chlazení*. Maximální teplota v kritické místnosti (Obývací pokoj) dosahuje $31,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a průměrná vnitřní teplota v místnosti za období červen až srpen je $27,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tab. 6.8: VĚTRÁNÍ – Vliv provozních režimů

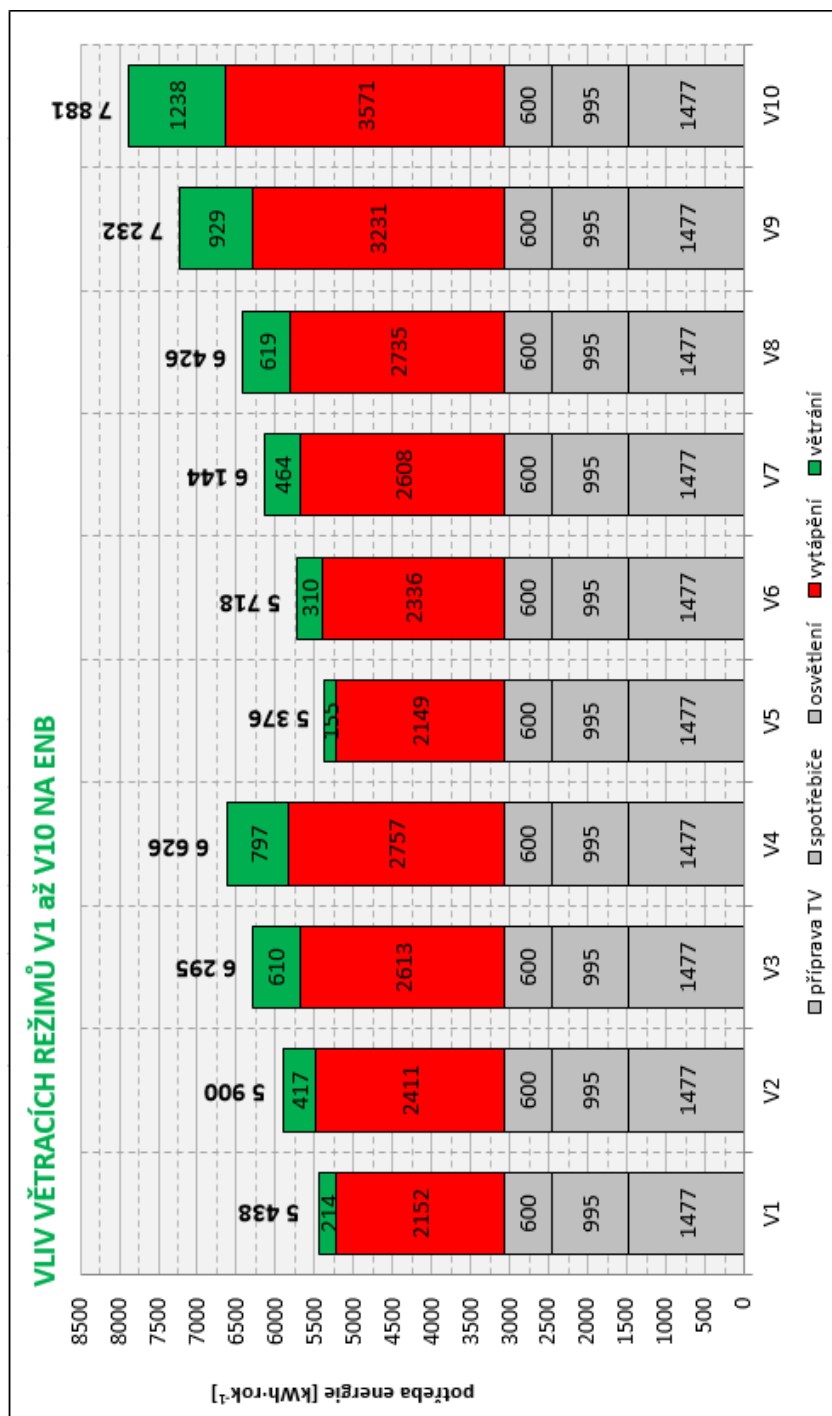
VĚTRÁNÍ - Provozní režimy									
	průměrná teplota v místnosti (červen - srpen) $\varnothing \theta_{ai}$ [°C]	maximální teplota v místnosti $\max \vartheta_{ai}$ [°C]	spotřeba energie na vytápění [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie na chlazení [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie na větrání [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie na přípravu TV [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie spotřebiči [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie na osvětlení [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie celkem [kWh·rok ⁻¹]
Varianta č. V1 stávající (kombinované: 0,15 h ⁻¹ + 0,30 h ⁻¹)	27,0	31,1	2152	0	214	1477	995	600	5438
Varianta č. V2 (kombinované: 0,30 h ⁻¹ + 0,60 h ⁻¹)	25,7	29,8	2411	0	417	1477	995	600	5900
Varianta č. V3 (kombinované: 0,45 h ⁻¹ + 0,90 h ⁻¹)	25,6	29,7	2613	0	610	1477	995	600	6295
Varianta č. V4 (kombinované: 0,60 h ⁻¹ + 1,2 h ⁻¹)	25,5	29,6	2757	0	797	1477	995	600	6626
Varianta č. V5 (konstantní: 0,15 h ⁻¹)	28,4	32,8	2149	0	155	1477	995	600	5376
Varianta č. V6 (konstantní: 0,30 h ⁻¹)	27,0	31,1	2336	0	310	1477	995	600	5718
Varianta č. V7 (konstantní: 0,45 h ⁻¹)	26,3	31,1	2608	0	464	1477	995	600	6144
Varianta č. V8 (konstantní: 0,60 h ⁻¹)	26,0	29,8	2735	0	619	1477	995	600	6426
Varianta č. V9 (konstantní: 0,90 h ⁻¹)	25,5	29,8	3231	0	929	1477	995	600	7232
Varianta č. V10 (konstantní: 1,2 h ⁻¹)	25,4	29,6	3571	0	1238	1477	995	600	7881

6.3.3 Porovnání a rozbor

Na následujícím Obr. 6.6 a v Tab. 6.9 je zobrazen vliv jednotlivých provozních režimů větrání V1 až V10 na celkovou roční ENB.

Tab. 6.9: VĚTRÁNÍ - Rozdíly mezi provozními režimy V1 až V10

	Vypočtena roční spotřeba energie budovy [kWh]	rozdíl [kWh]	procentní rozdíl
Varianta č. V1 stávající (kombinované: 0,15 h ⁻¹ + 0,30 h ⁻¹)	5438	0	0,0 %
Varianta č. V2 (kombinované: 0,30 h ⁻¹ + 0,60 h ⁻¹)	5900	462	8,5 %
Varianta č. V3 (kombinované: 0,45 h ⁻¹ + 0,90 h ⁻¹)	6295	857	15,8 %
Varianta č. V4 (kombinované: 0,60 h ⁻¹ + 1,2 h ⁻¹)	6626	1188	21,8 %
Varianta č. V5 (konstantní: 0,15 h ⁻¹)	5376	-62	-1,1 %
Varianta č. V6 (konstantní: 0,30 h ⁻¹)	5718	280	5,1 %
Varianta č. V7 (konstantní: 0,45 h ⁻¹)	6144	706	13,0 %
Varianta č. V8 (konstantní: 0,60 h ⁻¹)	6426	988	18,2 %
Varianta č. V9 (konstantní: 0,90 h ⁻¹)	7232	1794	33,0 %
Varianta č. V10 (konstantní: 1,2 h ⁻¹)	7881	2443	44,9 %



Obr. 6.6: VĚTRÁNÍ – Porovnání vlivu provozních režimů větrání V1 až V10 na celkovou ENB

6.3.4 Dílčí závěr

Po srovnání výsledků lze konstatovat, že kombinovaným větráním, kdy je vyšší intenzita výměny vzduchu pouze za situace $\theta_{ai} > 25\text{ °C}$, je v daném případě možné snížit roční energetickou spotřebu domu o 5,1 % až 18,9 %, oproti konstantnímu celoročnímu režimu větrání.

Dále pak je zjištěno, že oproti stávajícímu režimu větrání (kombinované $0,15 \text{ h}^{-1} + 0,30 \text{ h}^{-1}$) má zdvojnásobení intenzity výměny vzduchu vliv na snížení vnitřní teploty o $1,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, ale další navyšování výměny vzduchu již má téměř zanedbatelný vliv na zlepšení vnitřního mikroklimatu.

Varianta V2 sice oproti V1 sníží vnitřní teplotu, ta ale stejně dosahuje průměrné hodnoty (za červen až srpen) $25,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a maximální teploty $29,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, za současného navýšení ENB o $462 \text{ kWh}\cdot\text{rok}^{-1}$. V porovnání s chlazením, kdy např. Varianta CH4 (chlazení na $27 \text{ }^{\circ}\text{C}$) navýší ENB o $223 \text{ kWh}\cdot\text{rok}^{-1}$, se ukazuje navyšování větrání pro zajištění tepelného komfortu v letním období ekonomicky nevýhodné. Chlazení (na maximální teplotu $26 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a vyšší) zatěžuje ENB méně, než navyšování intenzity větrání a zajišťuje lepší tepelnou pohodu v letním období.

6.4 Zemní výměník tepla

6.4.1 Materiál a metodika

Do větrací jednotky je vháněn vzduch přes zemní výměník tepla (ZVT), který je z PE potrubí DN 250 mm, 36 m dlouhý a v hloubce 3 m. Tento zemní výměník by měl zajistit předehřev větracího vzduchu v zimním období a předchlazování čerstvého a cirkulačního vzduchu v letním období.

V následující části práce bude analyzován vliv ZVT na celkovou energetickou náročnost budovy. V Tab. 6.10 jsou definovány různé alternativy provozních režimů, jejichž vzájemná interakce je sledována.

Tab. 6.10: ZVT – Popis jednotlivých variant

	ozn.	popis	parametry
ZVT	Z1_stávající	stávající ZVT délky 36 m, v hloubce 3 m	d=36m, h=3m
	Z2	stávající ZVT délky 36 m, v hloubce 3 m, s užitím by-passu pro řízení nasávání přes ZVT nebo z fasády	d=36m, h=3m, by-pass
	Z3	bez užití ZVT	žádný ZVT
	Z4	stávající ZVT délky 36 m, v hloubce pouze 2 m	d=36m, h=2m
	Z5	stávající ZVT délky 36 m, v hloubce pouze 1 m	d=36m, h=1m
	Z6	ZVT délky 18 m, v hloubce 3 m	d=18m, h=3m
	Z7	ZVT délky 54 m, v hloubce 3 m	d=54m, h=3m
	Z8	ZVT délky 72 m, v hloubce 3 m	d=72m, h=3m

Varianta Z1 je stávající řešení ZVT, tzn. DN 250, délka 36 m v hloubce 3 m s kombinovaným proudění vzduchu VI ($0,15 \text{ h}^{-1} + 0,30 \text{ h}^{-1}$).

Tento základní model je ve Variantě Z2 pozměněn nasimulováním by-passu, který definuje nastavení podmínek, za jakých je nasáván vzduch přes ZVT a za jakých přímo z fasády (k zamezení nasávání předchlazeného vzduchu ze ZVT, který by bylo třeba dohřívat více, než vzduch přímo z exteriéru a obráceně v letním období).

Varianta Z3 neuvažuje vůbec s ZVT a větrací vzduch je nasáván pouze z fasády.

Varianty Z4 a Z5 uvažují se změnou hloubky ZVT ve 2 m, resp. 3 m.

Varianta Z6 až Z8 uvažuje s rozdílnou délkou ZVT, tedy délkou 18 m, 54 m a 72 m.

6.4.2 Výsledky

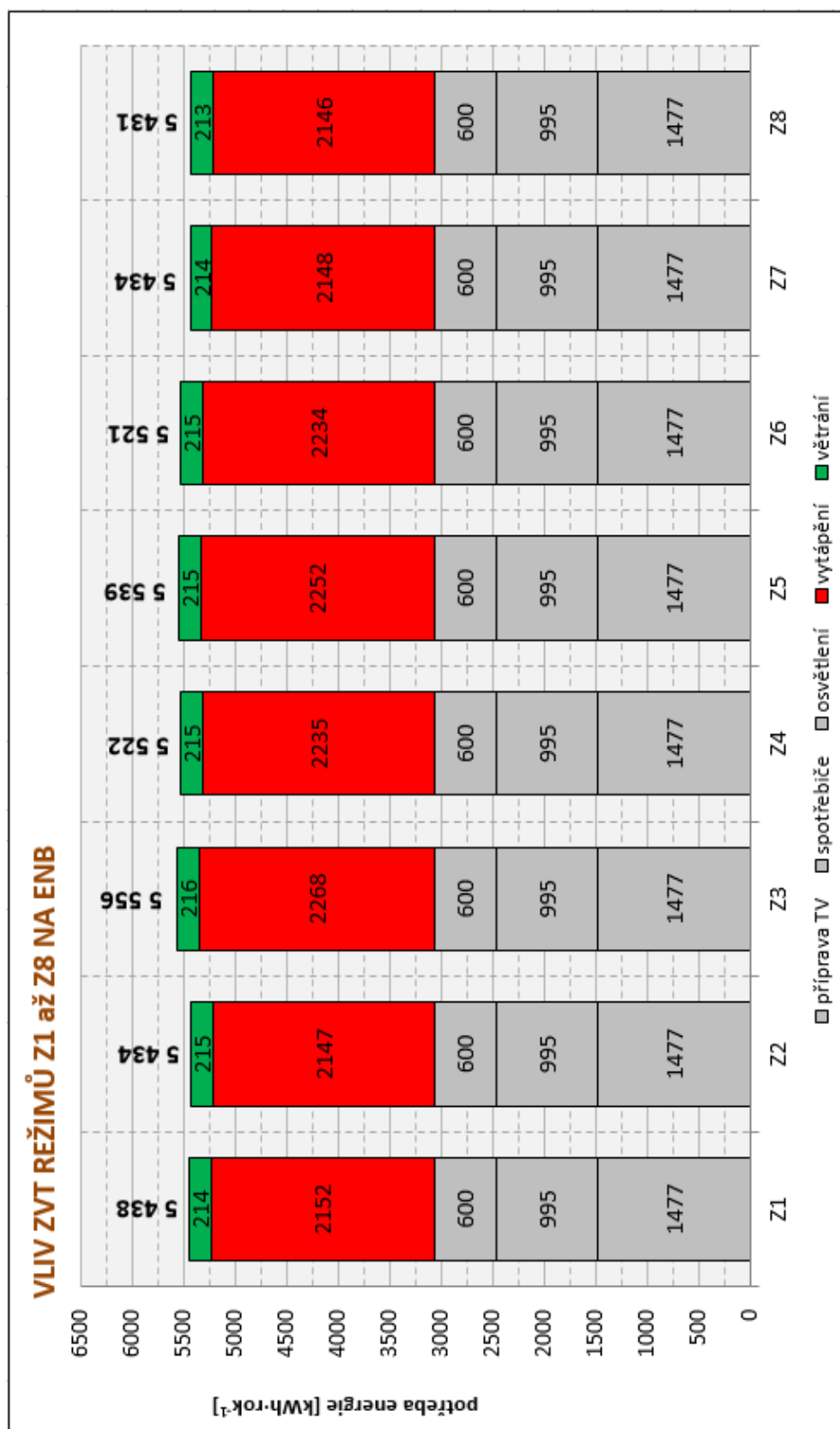
Obdobně, jako v předchozí části větrání, tak i změna parametrů ZVT má vliv jak na tepelnou pohodu v interiéru, tak i na energetickou spotřebu vytápění a větrání (chlazení není v této části uvažováno, aby byl prokázán vliv ZVT na letní tepelnou stabilitu). Ve výsledkové tabulce *Tab. 6.11* jsou shrnuty roční spotřeby energie včetně neměnných hodnot přípravy teplé vody, spotřebičů a osvětlení. Tento postup je opět volen z důvodu, aby součet pouze vytápění a větrání nezaváděl další mezihodnotu, ale abychom měli k dispozici součet spotřeby energie pro celou budovu, a tím byla lepší orientace v porovnání výsledků různých kapitol.

Tab. 6.11: ZVT – Vliv provozních režimů

ZVT - Provozní režimy									
	průměrná teplota v místnosti (červen - srpen)	maximální teplota v místnosti max θ_{ai} [°C]	spotřeba energie na vytápění [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie na chlazení [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie na větrání [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie na přípravu TV [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie spotřebiči [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie na osvětlení [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie celkem [kWh·rok ⁻¹]
Varianta č. Z1 stávající (d=36m, h=3m)	27,0	31,1	2152	0	214	1477	995	600	5438
Varianta č. Z2 (d=36, h=3m, by-pass)	27,0	31,1	2147	0	215	1477	995	600	5434
Varianta č. Z3 (žádný ZVT)	28,1	32,8	2268	0	216	1477	995	600	5556
Varianta č. Z4 (d=36m, h=2m)	27,2	31,4	2235	0	215	1477	995	600	5522
Varianta č. Z5 (d=36m, h=1m)	27,6	31,8	2252	0	215	1477	995	600	5539
Varianta č. Z6 (d=18m, h=3m)	27,4	31,7	2234	0	215	1477	995	600	5521
Varianta č. Z7 (d=54m, h=3m)	26,8	30,7	2148	0	214	1477	995	600	5434
Varianta č. Z8 (d=72m, h=3m)	26,6	30,5	2146	0	213	1477	995	600	5431

6.4.3 Porovnání a rozbor

Na následujícím Obr. 6.7 je zobrazen vliv jednotlivých provozních režimů ZVT Z1 až Z8 na celkovou roční ENB.



Obr. 6.7: ZVT – Porovnání vlivu provozních režimů Z1 až Z8 na celkovou ENB

Tab. 6.12: ZVT - Rozdíly mezi provozními režimy Z1 až Z8

	Vypočtena roční spotřeba energie budovy [kWh]	rozdíl [kWh]	procentní rozdíl
Varianta č. Z1 stávající (d=36m, h=3m)	5438	0	0,0 %
Varianta č. Z2 (d=36, h=3m, by-pass)	5434	-4	-0,1 %
Varianta č. Z3 (žádný ZVT)	5556	118	2,2 %
Varianta č. Z4 (d=36m, h=2m)	5522	84	1,5 %
Varianta č. Z5 (d=36m, h=1m)	5539	101	1,9 %
Varianta č. Z6 (d=18m, h=3m)	5521	83	1,5 %
Varianta č. Z7 (d=54m, h=3m)	5434	-4	-0,1 %
Varianta č. Z8 (d=72m, h=3m)	5431	-7	-0,1 %

6.4.4 Dílčí závěr

Po srovnání výsledků lze konstatovat, že ZVT plní svoji funkci v letním období, kdy přispívá ke zmírnění přehřívání interiéru, a stejně tak se projevuje jeho úspora pro vytápění, kdy předehřívá studený vzduch v zimním období. Užití stávajícího ZVT pozitivně přispívá na snížení ENB měrou 2,2 % a snížením teploty vnitřního vzduchu v průměru o 1,1 °C v letním období.

Degradace jeho účinnosti, formou mělkého uložení, je neopodstatněná, protože ZVT významně ztrácí na svých pozitivěch a jeho energetické přispění by bylo pouze 0,3, resp. 0,7 %. V tom případě již je pozitivní vliv ZVT na ENB tak malý, že je neekonomické ho vůbec budovat.

Stejně tak se projevuje i jeho zkrácení na poloviční délku. Naopak prodlužování 1,5x nebo 2x délky již žádné uspokojivé zlepšení nepřináší. Ukazuje se tedy, že další navyšování délky ZVT, oproti stávajícím 36 m, má jen mizivý vliv na úsporu provozní energie domu, kterou by mnohonásobně převýšily pořizovací náklady, což by bylo neekonomické řešení.

By-pass, pro řízení nasávání ze ZVT nebo z fasády, má sice pozitivní vliv na celkovou energetickou bilanci, ovšem tento vliv je minimální (-0,1 %). Analýzou bylo prokázáno, že je v daném případě neekonomické ZVT vůbec budovat.

6.5 Stínění a clonění

6.5.1 Materiál a metodika

Dříve již bylo zmíněno, že při konceptu pasivního domu jsou neodmyslitelné velké prosklené plochy k jihu (s vysokým solárním faktorem), které díky solárním ziskům snižují potřebu tepla na vytápění, ale také zvyšují riziko přehřívání interiéru v létě. K minimalizaci letních tepelných zisků je velmi důležité užití stínících a clonících prvků, jakými jsou žaluzie, rolety, markýzy či pergoly s popínavými rostlinami.

Pevné konstrukce jako pergoly a slunolamy využívají rozdílné polohy slunce v ročním období, kdy ostré letní paprsky pod velkým úhlem efektivně odstiňují, zatímco nízké zimní sluníčko propouští dovnitř. Záleží tedy na architektonicko-konstrukčním návrhu a následném řešení stínících prvků.

Žaluzie, rolety nebo markýzy jsou většinou nastavitelné a je tedy možné přizpůsobení aktuálním potřebám.

V následující části je tedy analyzován vliv rozdílně definovaného stínění a clonění (*Tab. 6.13*) na tepelnou pohodu kritické místnosti a ENB.

Varianta *S1* je stávající řešení, tzn. že je 0,45 m nad jižními francouzskými okny v 1NP, použit slunolam s vyložením 1,3 m. Dále pak jsou všechny okenní výplně opatřeny vnějšími žaluziemi, které jsou nastavitelné a jejich proměnné užívání je v simulaci definováno na základě dávky slunečního ozáření a teploty vzduchu v interiéru. V případě, že je v kritické místnosti teplota vnitřního vzduchu vyšší než 25 °C, tak při dávce přímého slunečního ozáření (dopadajícího na svislou plochu okna) o hodnotě $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ započne clonění, které dosáhne svého maxima 0,9 (90 % plochy zastíněno) při hodnotě $300 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Tento postup je volen z důvodu zachování alespoň minimálního přírodního osvětlení a vyvarování se nutnosti užití umělého osvětlení.

Následující varianty *S2* až *S5* zkoumají vliv délky vyložení slunolamu, kdy jsou simulovány varianty s vyložením od 0 m (bez slunolamu) až po 2,6 m.

Varianta *S6* se vrací ke stávající délce vyložení slunolamu 1,3 m, ale zaměřuje se na záměnu vnějších žaluzií za vnitřní. Od této simulace se očekává vyčíslení rozdílu nárůstu teploty v interiéru při užití vnějších a vnitřních žaluzií (vnitřní jsou obecně považovány za méně účinné).

Varianta *S7* uvažuje se stávajícím slunolamem o vyložení 1,3 m, ale úplně bez užití jakýchkoliv žaluzií.

Varianta S8 v modelu nepočítá ani se slunolamem, ani s jakýmkoliv žaluziemi v okenních výplních.

Tab. 6.13: STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ I – Popis jednotlivých variant

	ozn.	popis	parametry
STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ	S1_stávající	vyložení slunolamu 1,3 m; clonění oken vnějšími žaluziemi	1,3 m slunolam + žaluzie
	S2	bez slunolamu clonění oken vnějšími žaluziemi	bez slunolamu + žaluzie
	S3	vyložení slunolamu 0,65 m; clonění oken vnějšími žaluziemi	0,65 m slunolam + žaluzie
	S4	vyložení slunolamu 1,95 m; clonění oken vnějšími žaluziemi	1,95 m slunolam + žaluzie
	S5	vyložení slunolamu 2,6 m; clonění oken vnějšími žaluziemi	2,6 m slunolam + žaluzie
	S6	vyložení slunolamu 1,3 m; bez clonění oken vnějšími žaluziemi	1,3 m slunolam + vnitřní žaluzie
	S7	vyložení slunolamu 1,3 m; bez clonění oken vnějšími žaluziemi	1,3 m slunolam + bez žaluzií
	S8	bez slunolamu bez clonění oken žaluziemi	bez slunolamu + bez žaluzií

6.5.2 Výsledky I

Obdobně, jako v předchozích částech, tak i změna parametrů zastínění a clonění má vliv jak na tepelnou pohodu v interiéru, tak i na energetickou spotřebu vytápění a větrání (chlazení není v této části uvažováno, aby byl prokázán vliv zastínění a clonění na teplotu vnitřního vzduchu). Ve výsledkové tabulce Tab. 6.14 jsou shrnuty roční spotřeby energie včetně neměnných hodnot přípravy teplé vody, spotřebičů a osvětlení.

Vybrané příklady průběhu teplot vnitřního vzduchu v místnostech jsou zobrazeny v přílohách. Teploty pro Variantu S1 jsou v Příloha č. 8: CHLAZENÍ – Průběh teplot v místnostech bez užití chlazení. Maximální teplota v kritické místnosti (Obývací pokoj) dosahuje 31,1 °C a průměrná vnitřní teplota v místnosti za období červen až srpen je 27,0 °C. Teploty pro Variantu S8 jsou v Příloha č. 12: STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ I – Průběh teplot v místnostech bez stínění. Maximální teplota v kritické

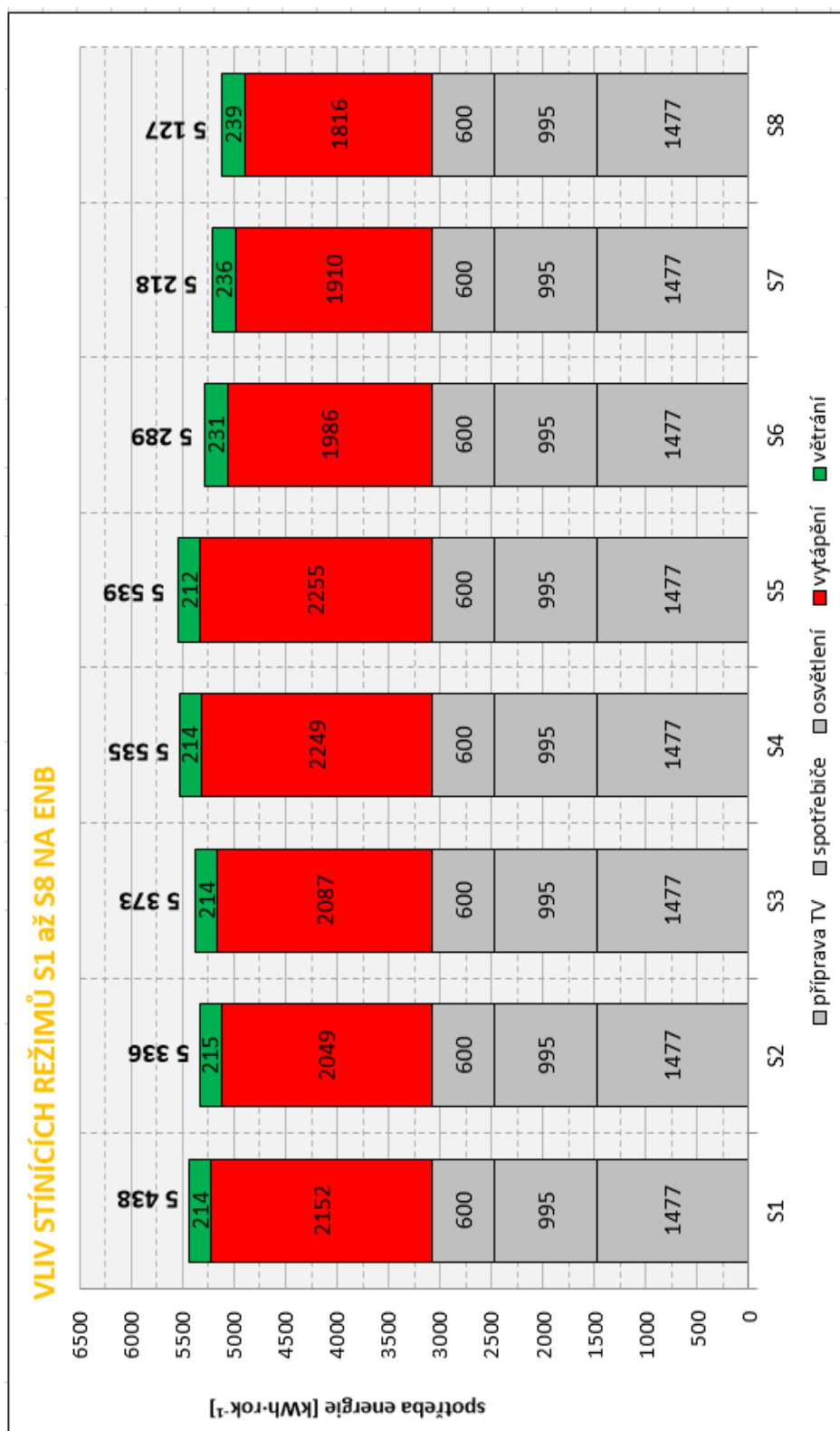
místnosti (Obývací pokoj) dosahují 47,8 °C a průměrná vnitřní teplota v místnosti za období červen až srpen je 39,2 °C.

Tab. 6.14: STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ I – Vliv provozních režimů

STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ - Provozní režimy										
	průměrná teplota v místnosti (červen - srpen) $\varnothing \theta_{ai}$ [°C]	maximální teplota v místnosti $\max \theta_{ai}$ [°C]		spotřeba energie na vytápění [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie na chlazení [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie na větrání [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie na přípravu TV [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie spotřebiči [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie na osvětlení [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie celkem [kWh·rok ⁻¹]
Varianta č. S1_stávající (1,3m slunolam + žaluzie)	27,0	31,1		2152	0	214	1477	995	600	5438
Varianta č. S2 (bez slunolamu + žaluzie)	27,9	32,4		2049	0	215	1477	995	600	5336
Varianta č. S3 (0,65m slunolam + žaluzie)	27,5	31,8		2087	0	214	1477	995	600	5373
Varianta č. S4 (1,95m slunolam + žaluzie)	26,8	30,7		2249	0	214	1477	995	600	5535
Varianta č. S5 (2,6m slunolam + žaluzie)	26,7	30,5		2255	0	212	1477	995	600	5539
Varianta č. S6 (1,3m slunolam + vnitřní žaluzií)	33,6	42,8		1986	0	231	1477	995	600	5289
Varianta č. S7 (1,3m slunolam + bez žaluzií)	35,0	43,0		1910	0	236	1477	995	600	5218
Varianta č. S8 (bez slunolamu + bez žaluzií)	39,2	47,8		1816	0	239	1477	995	600	5127

6.5.3 Porovnání a rozbor I

Na následujícím Obr. 6.8 je zobrazen vliv jednotlivých provozních režimů stínění a clonění S1 až S8 na celkovou roční ENB a v Tab. 6.15 jsou vyčísleny jejich procentuální rozdíly.



Obr. 6.8: STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ I – Porovnání vlivu provozních režimů S1 až S8 na celkovou ENB

Tab. 6.15: STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ I - Rozdíly mezi provozními režimy S1 až S8

	Vypočtena roční spotřeba energie budovy [kWh]	rozdíl [kWh]	procentní rozdíl
Varianta č. S1 stávající (1,3m slunolam + žaluzie)	5438	0	0,0%
Varianta č. S2 (bez slunolamu + žaluzie)	5336	-102	-1,9%
Varianta č. S3 (0,65m slunolam + žaluzie)	5373	-65	-1,2%
Varianta č. S4 (1,95m slunolam + žaluzie)	5535	97	1,8%
Varianta č. S5 (2,6m slunolam + žaluzie)	5539	101	1,9%
Varianta č. S6 (1,3 slunolam + vnitřní žaluzií)	5289	-149	-2,7%
Varianta č. S7 (1,3 slunolam + bez žaluzií)	5218	-220	-4,0%
Varianta č. S8 (bez slunolamu + bez žaluzií)	5127	-311	-5,7%

6.5.4 Dílčí závěr I

Po srovnání výsledků lze konstatovat, že pro letní období má zásadní vliv clonění vnějšími žaluziemi, které příznivě přispívají k mírnění přehřívání interiéru. Užitím vnějších žaluzií (S1) lze (oproti S7) dosáhnout snížení maximální teploty interiérového vzduchu o 11,9 °C (ze 43 °C na 31,1 °C) a průměrnou teplotu o 8 °C (z 35 °C na 27 °C). Stále jsou ale tyto teploty příliš vysoké.

Mnohem menší účinnost mají vnitřní žaluzie (S6), které (oproti S7) jen omezeně zmírňují průnik tepelné sluneční energie do interiéru a dokážou snížit maximální teploty interiérového vzduchu jen o 0,2 °C (na 42,8 °C) a průměrnou teplotu o 1,4 °C (na 33,6 °C).

Podobný vliv, jako vnitřní žaluzie, má i slunolam (S1) nad francouzskými okny v INP, který (oproti S2) při svém vyložení 1,3 m dokáže snížit maximální vnitřní teplotu o 1,3 °C a průměrnou teplotu o 0,9 °C. S rostoucí délkou vyložení stínící konstrukce (slunolamu) má teplota vnitřního vzduchu klesající charakter, ale jen po určitou hranici délky vyložení, kdy je zastínění na spodní hraně okna (délka 2 m). Další prodlužování stínící konstrukce je neefektivní a má minimální vliv.

I přes uvažovaná stínící a clonící opatření (slunolam, vnější a vnitřní žaluzie) dochází k přehřívání interiéru, s čímž se ale váže i snížení spotřeby energie na vytápění. Stojí tak proti sobě dva protichůdné aspekty. Z důvodu objektivního posouzení všech variant je do výpočtového modelu zaneseno chlazení vnitřního vzduchu na maximálně 27 °C (CH4), čímž se zaručí vhodné vnitřní teplotní mikroklima a jedinou srovnávací rovinou se stane ENB.

6.5.5 Výsledky II

Do všech předchozích Variant stínění a clonění S1 až S8 bylo zaneseno chlazení na maximální teplotu vnitřního vzduchu 27 °C (CH4), čímž je zaručeno vhodné vnitřní teplotní mikroklima a jedinou srovnávací rovinou se stane ENB

Ve výsledkové tabulce *Tab. 6.16* jsou shrnuty roční spotřeby energie.

Vybrané příklady průběhu energetické spotřeby jsou zobrazeny v přílohách. Pro Variantu S1 + CH4 jsou v *Příloha č. 13: STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ II – Průběh energetické spotřeby při stínění S1 a chlazení CH4 pro jednotlivé teplotní zóny*. Energetická náročnost budovy dosahuje hodnoty 5 655 kWh·rok⁻¹.

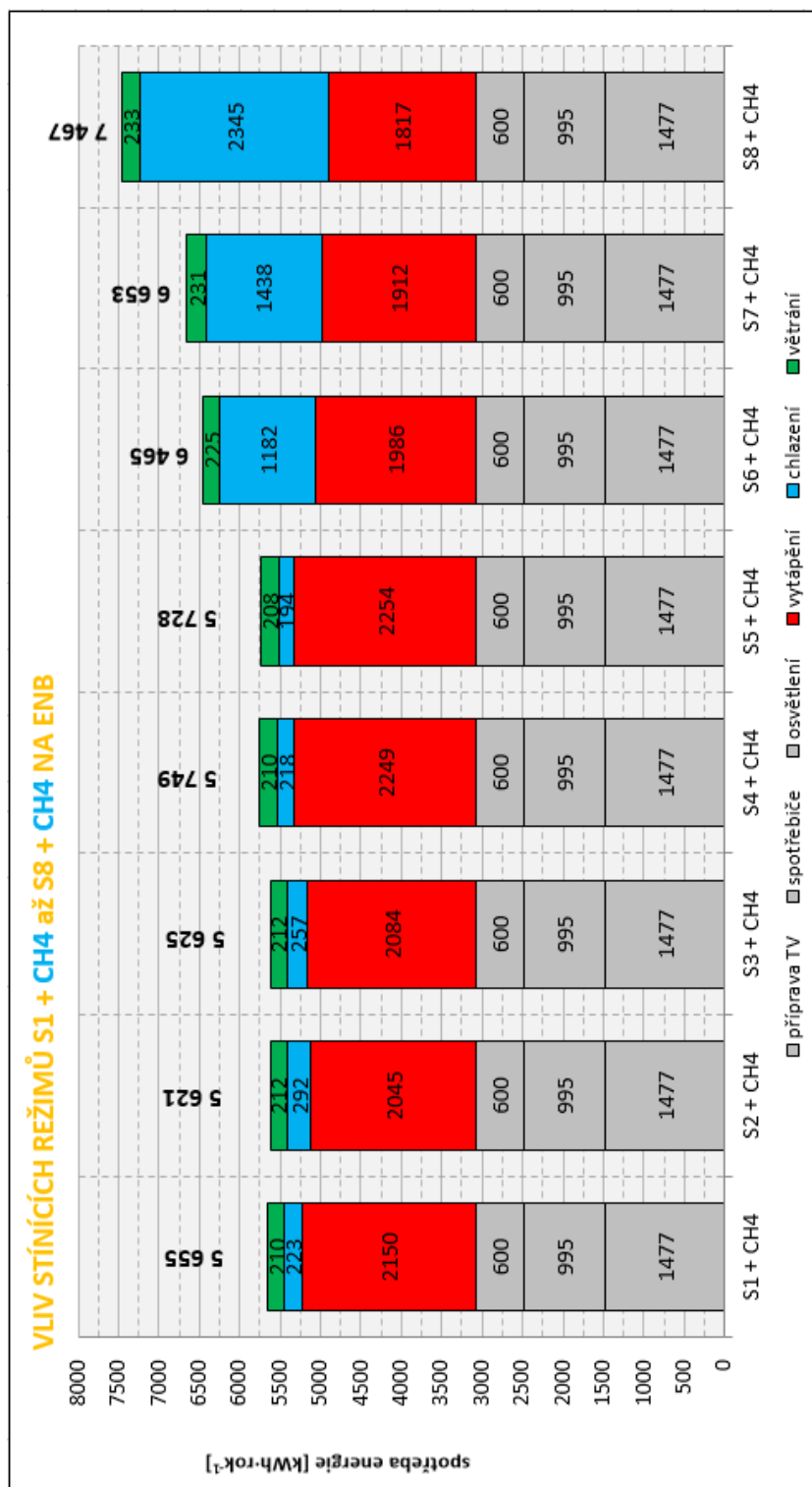
Spotřeby pro Variantu S8 + CH4 jsou v *Příloha č. 14: STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ II – Průběh energetické spotřeby při stínění S8 a chlazení CH4 pro jednotlivé teplotní zóny*. Energetická náročnost budovy dosahuje hodnoty 7 467 kWh·rok⁻¹.

Tab. 6.16: STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ II – Vliv provozních režimů

STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ - Provozní režimy										
	průměrná teplota v místnosti (červen - srpen) $\varnothing \theta_{ai}$ [°C]	maximální teplota v místnosti $max \theta_{ai}$ [°C]		spotřeba energie na vytápění [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie na chlazení [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie na větrání [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie na přípravu TV [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie spotřebiči [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie na osvětlení [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie celkem [kWh·rok ⁻¹]
Varianta č. S1 + CH4 stávající (1,3m slunolam + žaluzie + max 27 °C)	26,0	27,0		2150	223	210	1477	995	600	5655
Varianta č. S2 + CH4 (bez slunolamu + žaluzie + max 27 °C)	26,3	27,0		2045	292	212	1477	995	600	5621
Varianta č. S3 + CH4 (0,65m slunolam + žaluzie + max 27 °C)	26,1	27,0		2084	257	212	1477	995	600	5625
Varianta č. S4 + CH4 (1,95m slunolam + žaluzie + max 27 °C)	25,9	27,0		2249	218	210	1477	995	600	5749
Varianta č. S5 + CH4 (2,6m slunolam + žaluzie + max 27 °C)	25,9	27,0		2254	194	208	1477	995	600	5728
Varianta č. S6 + CH4 (1,3 slunolam + vnitřní žaluzií + max 27 °C)	26,8	27,0		1986	1182	225	1477	995	600	6465
Varianta č. S7 + CH4 (1,3 slunolam + bez žaluzií + max 27 °C)	26,9	27,0		1912	1438	231	1477	995	600	6653
Varianta č. S8 + CH4 (bez slunolamu + bez žaluzií + max 27 °C)	27,0	27,0		1817	2345	233	1477	995	600	7467

6.5.6 Porovnání a rozbor II

Na následujícím Obr. 6.9 je zobrazen vliv jednotlivých provozních režimů stínění a clonění s chlazením $S1+CH4$ až $S8+CH4$ na celkovou roční ENB a v Tab. 6.17 jsou pak vyčísleny jejich procentuální rozdíly.



Obr. 6.9: STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ II – Porovnání vlivu provozních režimů $S1+CH4$ až $S8+CH4$ na celkovou ENB

Tab. 6.17: STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ II - Rozdíly mezi provozními režimy S1+CH4 až S8+CH4

	Vypočtena roční spotřeba energie budovy [kWh]	rozdíl [kWh]	procentní rozdíl
Varianta č. S1 + CH4 stávající (1,3m slunolam + žaluzie + max 27 °C)	5655	0	0,0%
Varianta č. S2 + CH4 (bez slunolamu + žaluzie + max 27 °C)	5621	-34	-0,6%
Varianta č. S3 + CH4 (0,65m slunolam + žaluzie + max 27 °C)	5625	-30	-0,5%
Varianta č. S4 + CH4 (1,95m slunolam + žaluzie + max 27 °C)	5749	94	1,7%
Varianta č. S5 + CH4 (2,6m slunolam + žaluzie + max 27 °C)	5728	73	1,3%
Varianta č. S6 + CH4 (1,3 slunolam + vnitřní žaluzií + max 27 °C)	6465	810	14,3%
Varianta č. S7 + CH4 (1,3 slunolam + bez žaluzií + max 27 °C)	6653	998	17,6%
Varianta č. S8 + CH4 (bez slunolamu + bez žaluzií + max 27 °C)	7467	1812	32,0%

6.5.7 Dílčí závěr II

Po druhém kroku srovnání výsledků, kdy bylo ve všech předchozích stínících variantách užito aktivní chlazení, lze shodně s výše uvedeným konstatovat, že pro letní období má zásadní vliv clonění vnějšími žaluziemi, které příznivě přispívají ke zmírnění přehřívání interiéru. Užitím vnějších žaluzií (S1+CH4) lze (oproti S7+CH4) dosáhnout snížení spotřeby energie na chlazení a tím celého domu o 17,6 %.

Malý vliv (-0,6 % až 1,7 %) na celkovou ENB má (v případě clonění vnějšími žaluziemi) užití a změna vyložení slunolamu (S2+CH4 až S4+CH4). V tomto případě vycházejí výsledky paradoxně drobně ve prospěch užití klimatizace bez slunolamu, než s ním.

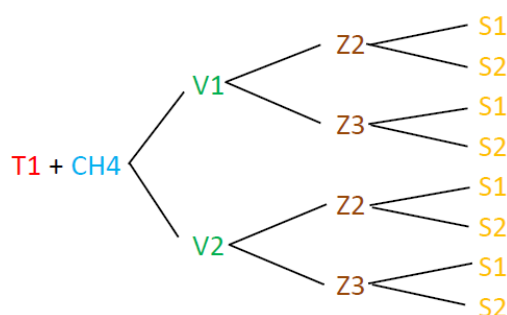
Mnohem výraznější nárůst spotřebované energie je zaznamenán v modelu (S6+CH4) se záměnou vnějších žaluzií za vnitřní (nárůst ENB o 14 %) a v modelech úplně bez užití žaluzií (S7+CH4 a S8+CH4) (navýšení ENB o 17,6 %, resp. 32 %).

V případě nepoužití vnějších žaluzií se již do ENB výrazněji promítne vliv slunolamu, kdy je rozdíl těchto dvou variant ($S7+CH4$ a $S8+CH4$) 14,4 %, a jeho využití je opodstatněné.

6.6 Optimalizace kombinací

6.6.1 Materiál a metodika

K energeticky úspornému projektování neodmyslitelně patří variantní řešení s energetickou optimalizací. Je to proces, který nadále zefektivňuje zvolené parametry řešené stavby. Je zřejmé, že každý objekt má rozdílné podmínky a vyžaduje jiné řešení, případně určitá přizpůsobení. Změna jednotlivých faktorů se v různých situacích a kombinacích mohou projevovat v odlišné míře. Optimalizačním postupem je v této části práce myšleno porovnání několika variant dříve vyhodnocených a vybraných parametrů, které se vzájemně zkombinují.



Obr. 6.10: OPTIMALIZACE – Kombinace variant

Tab. 6.18: OPTIMALIZACE – Popis jednotlivých variant

	ozn.	parametry	popis
OPTIMALIZACE	O1	T1+CH4+V1+Z2+S1	T1 (vytápění - denní profily max. 20°C);
	O2	T1+CH4+V1+Z2+S2	CH4 (chlazení na max 27°C);
	O3	T1+CH4+V1+Z3+S1	V1 (kombinované 0,15 h ⁻¹ + 0,3 h ⁻¹ při $\theta_{ai} > 25^\circ\text{C}$);
	O4	T1+CH4+V1+Z3+S2	V2 (kombinované 0,3 h ⁻¹ + 0,6 h ⁻¹ při $\theta_{ai} > 25^\circ\text{C}$);
	O5	T1+CH4+V2+Z2+S1	Z2 (ZVT délky 36 m, v hloubce 3m + by-pass pro řízení nasávání ze ZVT nebo z fasády);
	O6	T1+CH4+V2+Z2+S2	Z3 (bez ZVT);
	O7	T1+CH4+V2+Z3+S1	S1 (1,3m slunolam);
	O8	T1+CH4+V2+Z3+S2	S2 (bez slunolamu);

Přestože snížením požadované vnitřní teploty dosáhneme nižší energetické náročnosti, tak pro zachování teplotního komfortu v zimním období je volena Varianta *T1*, která je stávající řešení. Pro vytápění je zvolen režim pro pracovní a nepracovní dny, kdy je proměnná požadovaná teplota během dne se spodní hranicí 18 °C (nepřítomnost osob, nebo noc) a horní hranice je 20 °C (vytápění přes den v době přítomnosti osob).

Po předchozím zjištění, že zachování teplotního komfortu v letním období nelze v daném případě dosáhnout různými větracími ani stínícími a clonícími režimy, tak i přes navýšení energetické náročnosti budovy je zvoleno aktivní chlazení na maximální teplotu vnitřního vzduchu 27 °C = *CH4*, což je nejpříjemnější z dříve zkoumaných variant.

Z variant větrání jsou zvoleny 2 kombinace. *V1* je stávající kombinované řešení s intenzitou větrání 0,15 h⁻¹, která se při teplotě vnitřního vzduchu výší než 25 °C zvýší na 0,3 h⁻¹. Výměna 0,15 h⁻¹ (=55,5 m³·h⁻¹) sice vyhovuje hygienickému minimu 25 m³·h⁻¹·osoba⁻¹ při užívání objektu dvěma osobami, ale je to velmi malá výměna, která může být nedostatečná při hodnocení vzduchu z hlediska pachů, nebo koncentrace CO₂. Navíc je při takto malém průtoku vzduchu přes ZVT i málo dodané tepelné energie (předehřátím v zemině) do interiéru, která by se při vyšším průtoku vzduchu mohla zvýšit a eliminovat ztrátu vyšším větráním a topením. Z toho důvodu je do kombinací ještě vnesena *V2*, která vyměňuje vzduch intenzitou 0,3 h⁻¹ a při teplotě vnitřního vzduchu nad 25 °C se zvýší na 0,6 h⁻¹.

Z nastíněné úvahy, že při vyšším průtoku vzduchu přes ZVT by se mohl i zvýšit jeho vliv na celkovou ENB a tím i ekonomická návratnost jeho zbudování, není ZVT úplně zavrhnuto, ale bude kombinován ve dvou variantách: *Z2*, tedy stávající ZVT délky 36 m, v hloubce 3 m s užitým by-passem pro řízení nasávání přes ZVT nebo z fasády. Dále pak *Z3*, kdy se ZVT i přes drobný energetický přínos, z ekonomických důvodů (příliš dlouhé návratnosti) nepoužije.

Pro clonění se ukázaly jako stěžení venkovní žaluzie, které budou použity. Dále pak na základě zjištění velmi malého rozdílu vlivu stínění bez slunolamu a s ním (vyložení 1,3 m), který by se v případě vzájemného působení kombinací variant mohl změnit, budou v kombinacích uvažovány obě tyto varianty (*S1* a *S2*).

Po vzájemné kombinaci všech těchto zvolených (již dříve samostatně optimalizovaných) parametrů dojde k vyhodnocení nejvhodnějšího vzájemného spolupůsobení, což bude optimální návrh.

6.6.2 Výsledky

Z dříve samostatně optimalizovaných variant vytápění, chlazení, větrání, ZVT, stínění a clonění, byly vybrány ty nejvhodnější, které byly vzájemně zkombinovány. V Tab. 6.19 jsou zobrazeny výsledky vlivu zvolených kombinací na celkovou ENB.

V přílohách jsou zobrazeny průběhy teplot a spotřeb energií nejvýhodnější Varianty O2. Teploty vnitřního vzduchu v místnostech jsou v Příloha č. 15: *OPTIMALIZACE – Průběh teplot v místnostech - O2*. Maximální teplota v kritické místnosti (Obývací pokoj) dosahuje díky chlazení 27 °C a průměrná vnitřní teplota v místnosti za období červen až srpen je 26,3 °C.

Průběh teplot ovlivněných ZVT je znázorněn v Příloha č. 16: *OPTIMALIZACE – Průběh teplot ovlivněných ZVT – O2*, kde jsou patrné průběhy teploty vzduchu vstupujícího do ZVT, teploty zeminy, teploty vystupujícího vzduchu z ZVT, teploty vzduchu vstupujícího do rekuperační jednotky (po řízení nasávání by-passem ZVT/fasáda), teploty vzduchu vstupujícího do zóny a teploty interiéru.

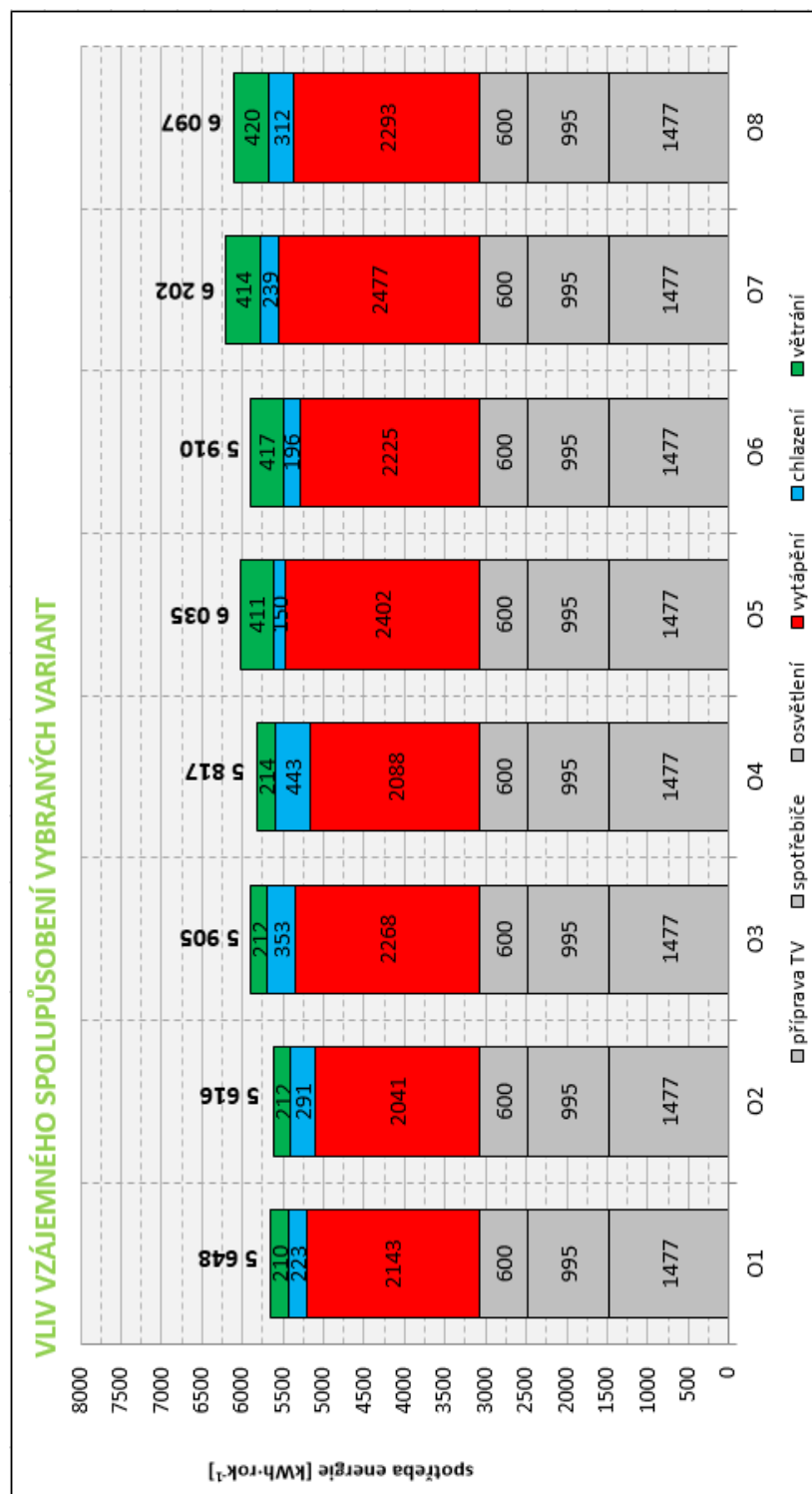
Spotřeby energie na vytápění a chlazení jednotlivých tepelných zón jsou zobrazeny v Příloha č. 17: *OPTIMALIZACE – Průběh energetické spotřeby – O2*.

Tab. 6.19: *OPTIMALIZACE – Vliv vybraných variant*

OPTIMALIZACE – Vybrané varianty										
	průměrná teplota v místnosti (červen - srpen) $\varnothing \theta_{ai}$ [°C]	maximální teplota v místnosti $max \theta_{ai}$ [°C]		spotřeba energie na vytápění [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie na chlazení [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie na větrání [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie na přípravu TV [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie spotřebiči [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie na osvětlení [kWh·rok ⁻¹]	spotřeba energie celkem [kWh·rok ⁻¹]
Varianta č. O1 T1+CH4+V1+Z2+S1	26,0	27,0		2143	223	210	1477	995	600	5648
Varianta č. O2 T1+CH4+V1+Z2+S2	26,3	27,0		2041	291	212	1477	995	600	5616
Varianta č. O3 T1+CH4+V1+Z3+S1	26,2	27,0		2268	353	212	1477	995	600	5905
Varianta č. O4 T1+CH4+V1+Z3+S2	26,5	27,0		2088	443	214	1477	995	600	5817
Varianta č. O5 T1+CH4+V2+Z2+S1	25,6	27,0		2402	150	411	1477	995	600	6035
Varianta č. O6 T1+CH4+V2+Z2+S2	25,9	27,0		2225	196	417	1477	995	600	5910
Varianta č. O7 T1+CH4+V2+Z3+S1	25,9	27,0		2477	239	414	1477	995	600	6202
Varianta č. O8 T1+CH4+V2+Z3+S2	26,1	27,0		2293	312	420	1477	995	600	6097

6.6.3 Porovnání a rozbor

Na následujícím *Obr. 6.11* je zobrazen vliv jednotlivých vybraných variant na celkovou roční ENB a v *Tab. 6.20* jsou pak vyčísleny jejich procentuální rozdíly oproti nejvýhodnější Variantě O2.



Obr. 6.11: OPTIMALIZACE – Porovnání vlivu vzájemného spolupůsobení vybraných variant na celkovou ENB

Tab. 6.20: OPTIMALIZACE - Rozdíly mezi vybranými variantami

	Vypočtena roční spotřeba energie budovy [kWh]	rozdíl [kWh]	procentní rozdíl
Varianta č. O1 T1+CH4+V1+Z2+S1	5648	0	0,0%
Varianta č. O2 T1+CH4+V1+Z2+S2	5616	-32	-0,6%
Varianta č. O3 T1+CH4+V1+Z3+S1	5905	257	4,6%
Varianta č. O4 T1+CH4+V1+Z3+S2	5817	169	3,0%
Varianta č. O5 T1+CH4+V2+Z2+S1	6035	387	6,9%
Varianta č. O6 T1+CH4+V2+Z2+S2	5910	262	4,6%
Varianta č. O7 T1+CH4+V2+Z3+S1	6202	554	9,8%
Varianta č. O8 T1+CH4+V2+Z3+S2	6097	449	7,9%

6.6.4 Dílčí závěr

Po srovnání výsledků simulovaných kombinací vybraných (již dříve optimalizovaných) variant lze konstatovat, že se stoupající intenzitou větrání se zvyšuje i pozitivní vliv ZVT na ENB. Bohužel se v daném případě jedná o nedostatečné zlepšení, protože spotřebovaná energie na topení a větrání převyšují zlepšení u chlazení natolik, že celková ENB je vyšší než v případě nižší intenzity větrání. Pokud to tedy není nutné (např. z důvodu vyšší koncentrace CO₂, nebo zápachu), tak nemá smysl navyšovat intenzitu větrání nad hygienické minimum, protože to vede k navýšení ENB.

Oproti předchozímu porovnání v části „ZVT“, kde byl hodnocen vliv ZVT pouze na spotřebu energie na vytápění (2,2%), se po zanesení aktivního chlazení do výpočtu, zvýší i celkový pozitivní vliv ZVT (díky předchlazení v létě) na ENB na cca 3,6 % až 4,6 %, což představuje zlepšení 201 až 257 kWh·rok⁻¹. To je při dnešní průměrné ceně za elektřinu 4,34 Kč za 1 kWh úspora na spotřebě domu 872 až 1 115 Kč za rok. Tato úspora se ještě zmenší po odečtení jiných provozních a udržovacích nákladů na ZVT. Stojí tedy za úvahu investora, jestli je pro něj dlouhá doba investiční návratnosti (i přes zvyšující se ceny za energie) akceptovatelná.

Dále bylo zjištěno, že v případovém modelu se odstraněním slunolamu (=zvýšení solárních zisků) sice zvýší spotřeba energie na chlazení, ale současně se s tím

ještě více sníží spotřeba energie na vytápění, takže v konečném součtu se jedná o výhodnější variantu.

Provedenými simulacemi různě zkombinovaných variant architektonicko-konstrukčního řešení a provozních režimů, došlo k výběru optimálního nastavení návrhu, kterým je O2 (tedy vytápění s nastavenými profily užívání a max. 20 °C, strojní chlazení na max. 27°C, kombinované větrání s intenzitou výměny vzduchu 0,15 h⁻¹ + 0,3 h⁻¹, 36 m dlouhý ZVT v hloubce 3 m a s užitým by-passem pro řízení nasávání přes ZVT/fasádu, se cloněním vnějšími žaluziemi bez slunolamu).

6.7 Závěr k analýze vlivu architektonicko-konstrukčního návrhu a provozních režimů na ENB

Dynamickými simulacemi byl zkoumáný vliv architektonicko-konstrukčního návrhu a provozních režimů na energetickou náročnost budovy. Pro analýzu výsledků bylo zvoleno několik parametrů, které se měnily a byl zjišťován jejich vliv na ENB. Měněnými parametry pro nastavení vytápění byla teplota vnitřního vzduchu a užití různých provozních režimů vytápění. Pro chlazení byl analyzován model bez chlazení a následně s chlazením pro různé maximální teploty vnitřního vzduchu. U větrání byly použity různé konstantní i kombinované intenzity větrání. U zemního výměníku tepla byla analyzována situace bez jeho užití, nebo s užitím a měněnými parametry jeho délky i hloubky uložení, užití s by-passem pro řízení nasávání vzduchu přes ZVT/fasádu. Stínění se uvažovalo v kombinacích bez stínění, se stíněním slunolamem s měněnou délkou vyložení, a se cloněním vnitřními nebo vnějšími žaluziemi.

Po srovnání výsledků lze konstatovat, že je vhodné nastavení řídicích režimů vytápění pro pracovní a nepracovní dny s proměnnou požadovanou teplotou během dne (dle přítomnosti osob, nebo den/noc), protože úspora oproti konstantnímu nepřetržitému vytápění na 20 °C je v daném případě 11,3 %.

Dynamickou simulaci se ukázalo, že stávající provozní režim bez chlazení je nevhodný, protože dochází k přehřívání interiéru. Tepelný komfort v letním období může zajistit chlazení, ale je velmi důležité, na jakou teplotu chlazení je nastaveno. Např. chlazení na 25 °C se v daném případě jeví jako velmi neekonomické, protože dosahuje hodnoty spotřeby energie téměř jako vytápění. Jako nejefektivnější v poměru cena/výkon se jeví chlazení na 27 °C, kdy je zvýšení energetické náročnosti akceptovatelné pro dosažení přijatelného teplotního komfortu.

Kombinovaným větráním, kdy je vyšší intenzita výměny vzduchu pouze za situace $\theta_{ai} > 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, je v daném případě možné snížit roční energetickou spotřebu domu o 5,1 % až 18,9 %, oproti konstantnímu celoročnímu režimu větrání. Dále pak bylo zjištěno, že oproti stávajícímu režimu větrání (kombinované $0,15\text{ h}^{-1} + 0,30\text{ h}^{-1}$) má zdvojnásobení intenzity výměny vzduchu vliv na snížení vnitřní teploty o $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, ale další navyšování výměny vzduchu již má téměř zanedbatelný vliv na zlepšení vnitřního mikroklimatu. V porovnání s aktivním chlazením se ukazuje navyšování větrání pro zajištění tepelného komfortu v letním období ekonomicky nevýhodné.

ZVT plní svoji funkci v letním období, kdy přispívá ke zmírnění přehřívání interiéru, a stejně tak se projevuje jeho úspora pro vytápění, kdy předehřívá studený vzduch v zimním období. Užití stávajícího ZVT pozitivně přispívá na snížení spotřeby tepla na vytápění měrou 2,2 % a snížením teploty vnitřního vzduchu v průměru o $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ v letním období. Degradace jeho účinnosti, formou mělkého uložení, je neopodstatněná, protože ZVT významně ztrácí na svých pozitivěch. Stejně tak se projevuje i jeho zkrácení a naopak prodloužení již žádné uspokojivé zlepšení nepřináší. By-pass, pro řízení nasávání ze ZVT nebo z fasády, má sice pozitivní vliv na celkovou energetickou bilanci, ovšem tento vliv je minimální ($-0,1\text{ }%$).

Pro letní období má zásadní vliv clonění vnějšími žaluziemi, které příznivě přispívají ke zmírnění přehřívání interiéru. Užitím vnějších žaluzií lze dosáhnout snížení spotřeby energie na chlazení a tím celého domu o 17,6 %. Malý vliv ($-0,6\text{ }%$ až $1,7\text{ }%$) na celkovou ENB má (v případě clonění vnějšími žaluziemi) užití a změna vyložení slunolamu. V tomto případě vycházejí výsledky paradoxně drobně ve prospěch užití klimatizace bez slunolamu, než s ním. Vliv slunolamu se ale zvyšuje ($14,4\text{ }%$) při nepoužití klimatizace ani vnějších žaluzií. Mnohem výraznější nárůst spotřebované energie je zaznamenán v modelu se záměnou vnějších žaluzií za vnitřní (nárůst ENB o $14\text{ }%$) a v modelech úplně bez užití žaluzií, resp. bez slunolamu (navýšení ENB o $17,6\text{ }%$, resp. $32\text{ }%$).

Po vyhodnocení výsledků simulovaných kombinací vybraných (již dříve optimalizovaných) variant lze konstatovat, že se stoupající intenzitou větrání se zvyšuje i pozitivní vliv ZVT na ENB. Bohužel se v daném případě jedná o nedostatečné zlepšení, protože spotřebovaná energie na vytápění a větrání převyšují zlepšení u chlazení. Pokud to tedy není nutné (např. z důvodu vyšší koncentrace CO_2 , nebo zápachu), tak nemá smysl navyšovat intenzitu větrání nad hygienické minimum, protože to vede k navýšení ENB. Po zanesení aktivního chlazení do výpočtu se zvýší i celkový pozitivní vliv ZVT (díky předchlazení v létě) na ENB na cca $3,6\text{ }%$ až $4,6\text{ }%$, což je tak

malá úspora, u které stojí za úvahu investora, jestli je dlouhá doba investiční návratnosti akceptovatelná. Dále bylo zjištěno, že v případovém modelu se odstraněním slunolamu (=zvýšení solárních zisků) sice zvýší spotřeba energie na chlazení, ale současně se s tím ještě více sníží spotřeba energie na vytápění, takže v konečném součtu se jedná o výhodnější variantu.

Provedenými simulacemi různě zkombinovaných variant architektonicko-konstrukčního řešení a provozních režimů, došlo k výběru optimálního nastavení návrhu, kterým je O2 (tedy vytápění s nastavenými profily užívání a max. 20 °C, strojní chlazení na max. 27°C, kombinované větrání s intenzitou výměny vzduchu $0,15 \text{ h}^{-1} + 0,3 \text{ h}^{-1}$, 36 m dlouhý ZVT v hloubce 3 m a s užitým by-passem pro řízení nasávání přes ZVT/fasádu, se cloněním vnějšími žaluziemi bez slunolamu).

7 ZÁVĚR

Disertační práce se zabývá problematikou energetické náročnosti budov, zejména experimentálním měřením spotřeb energií vybraného energeticky pasivního rodinného domu a teoretickým výzkumem v oblasti energetických výpočtů a počítačových simulací. Na konci každé kapitoly jsou prezentovány dílčí výsledky a závěry.

První fáze (Cíl č. 1) byla zaměřena na provedení ročního experimentálního měření energetické náročnosti vybrané budovy, včetně zaznamenání vnějších klimatických dat i parametrů vnitřního mikroklimatu a jejich vyhodnocení.

Pro měření klimatických dat sloužila meteorologická stanice a pyranometr, pomocí nichž byly zaznamenávány nejvýznamnější veličiny (teplota vzduchu, relativní a absolutní vlhkost vzduchu, tlak vodní páry, teplota rosného bodu, dávka globálního slunečního ozáření, rychlost a směr větru, a další). Velkou slabinou se ukázala absence centrální měřicí ústředny se vzdáleným přístupem přes internet, čímž by byla zajištěna průběžná kontrola funkčnosti měření. Bylo by tím docíleno okamžitého zjištění poruchy měřicí techniky a tím i zamezeno nenávratné ztrátě naměřených (nearchivovaných) dat.

Naměřená data celkové (globální) dávky slunečního ozáření na vodorovnou plochu musela být výpočtově (pomocí matematického separačního modelu REINDL) rozdělena na difúzní a zbývající přímou složku.

Pro sledování parametrů vnitřního prostředí bylo v interiéru umístěno několik dataloggerů k měření vnitřní teploty a relativní vlhkosti vzduchu.

Všechna naměřená data byla za pomoci vytvoření několika maker ve VBA, upravena do požadovaného tvaru a formátu, aby dále mohla sloužit jako okrajová vstupní podmínka výpočtu, která snižuje vnesenou chybu na výsledek.

V objektu, který je energeticky závislý pouze na jednom energonositeli – elektřině, byly na všechny spotřebiče osazeny měřiče elektřiny a byla použita podružná měřidla v rozvodné elektro skříni. Celý rok byla sledována skutečná měsíční spotřeba elektřiny domu, která byla rozdělena do 5 základních kategorií (vytápění, větrání, příprava TV, spotřebiče a osvětlení).

Z analýzy výsledků měření se získaly poznatky o celoročním provozu budovy. Výsledky slouží pro pochopení funkčnosti VZT systému, stavu a kvality vnitřního prostředí, energetické náročnosti a v neposlední řadě i jako vstupy pro simulační model a k jeho validaci.

Další fáze (Cíl č. 2) se zaměřila na provedení kvazistacionárních i dynamických simulací, jejichž výsledky byly porovnány s experimentálním měřením. K výpočtům energetických spotřeb byly vybrány nástroje PHPP 8.5, ENERGIE 2015LT a TRNSYS 16, v nichž bylo použito několik výpočtových sad klimatických dat i dat skutečně naměřených.

Vzhledem k dosaženým výsledkům a následnému porovnání lze konstatovat, že nejprůvětivější uživatelský komfort práce je v pořadí 1. ENERGIE, 2. PHPP a nakonec v 3. TRNSYS. Přesnost výsledků (s vloženými skutečně naměřenými klimadaty), vůči skutečně naměřeným hodnotám, je ovšem přesně v opačném pořadí (1. TRNSYS, 2. PHPP, 3. ENERGIE). U přesnosti výsledků, ale vždy záleží, k čemu dané výpočty slouží a jak přesné výsledky jsou potřebné. Pro energetického specialistu, který hodnotí ENB, je PHPP a ENERGIE velice vhodným pomocníkem. Je-li ovšem potřeba, při stanovení potřeby energie dodané do budovy podrobněji rozlišit různé zdroje, klimatická data, způsoby regulace, nastavení parametrů vnitřního prostředí a jeho užívání, musí být proveden komplexní výpočet, který umožní tyto vlivy zohlednit. Pro zjištění vzájemné interakce těchto vlivů je nejlepší využití právě dynamické energetické simulace.

Konfrontace skutečně naměřených dat a modelu simulace přinesla poznatky o tom, že zvolený simulační program pracuje správně a je možné ho využít k optimalizaci.

Poslední fáze (Cíl č. 3) byla věnována analýze architektonicko-konstrukčního návrhu a provozních režimů pomocí dynamické počítačové simulace. Cílem bylo prokázání vztahu mezi architektonicko-konstrukčním řešením a energetickou náročností budovy. Byl pozorován vliv vybraných různých provozních režimů na spotřebu tepla na vytápění, chlazení, větrání a přehřívání interiéru.

Dynamická počítačová simulace využila dobře prověřeného a kalibrovaného modelu z předchozí kapitoly, konkrétně modelu v TRNSYS 16 s vloženými skutečně naměřenými hodinovými klimatickými daty, jehož shoda s reálně změřenou ENB byla výborná (rozdíl -0,7 %). Ve všech případech byly zachovány stejné zastavovací podmínky, geometrie stavby i parametry konstrukcí. Měněné byly pouze provozní režimy vytápění, chlazení, větrání, stínění a clonění, kdy byl pozorován jejich vliv na celkovou ENB.

Výsledek vzájemné interakce několika vstupních parametrů dal podklad k optimalizaci celého návrhu.

K současnému trendu udržitelného rozvoje a navrhování energeticky úsporných budov neodmyslitelně patří zkoumané téma energetických simulací a reálného užívání budov. K efektivnímu návrhu budovy je potřebná energetická optimalizace, která zefektivní zvolené parametry řešené stavby. Návrh musí být řešen komplexně již ve fázi návrhu.

7.1 Přínos práce pro praxi, vědní obor, a možnost navazujícího výzkumu

Srovnání výsledků simulací s reálně naměřenými hodnotami poukázalo na přesnost různých nástrojů. U přesnosti výsledků ale vždy záleží, k čemu dané výpočty slouží a jak přesné výsledky jsou potřebné. Pro hodnocení celkové ENB je PHPP a ENERGIE velice vhodným pomocníkem. Je-li ovšem potřeba podrobněji rozlišit různé zdroje, klimatická data, způsoby regulace, nastavení parametrů vnitřního prostředí a jeho užívání, musí být proveden komplexní výpočet, který umožní tyto vlivy zohlednit. Pro zjištění vzájemné interakce těchto vlivů je nejlepší využití právě dynamické simulace.

Dále pak výsledky simulací poukázaly na vliv zvolených faktorů na energetickou náročnost budovy a na maximální teplotu vnitřního prostředí. Podstatným zjištěním bylo, že nejen architektonicko-konstrukční parametry, ale i provozní režimy velmi významně ovlivňují spotřebu energie domu. Práce tedy přináší pro praxi informaci o tom, že při návrhu energeticky efektivních budov je kromě vhodně zvoleného architektonicko-konstrukčního návrhu podstatné zaobírat se i provozními režimy úpravy vnitřního prostředí.

Možností pro navazující výzkum by mohla být ještě efektivnější optimalizace, která by kromě porovnání několika zvolených variant, zahrnovala všechny možné situace, které by teoreticky mohly nastat. Nástrojem by se mohla stát citlivostní analýza pomocí numerických metod. Tento postup by vyhodnotil, které vstupní údaje a jejich změna, má v daném případě největší vliv na energetická bilance domu. Tedy kterými z mnoha vstupních parametrů je třeba se zabývat a podrobit je dalšímu zkoumání a optimalizaci a určit ty parametry, které na výsledek nemají takový vliv.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

8.1 Seznam použité literatury

- [1] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU: o energetické náročnosti budov.* In: . Štrasburk: EU, 2010, ročník 2010, 2010/31/EU. Dostupné také z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:cs:PDF>
- [2] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/844 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 2010/31/EU o energetické náročnosti budov a směrnice 2012/27/EU o energetické účinnosti.* In: . Štrasburk: EU, 2018, ročník 2018, EPBD III. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844&from=CS>
- [3] KABELE, Karel. Změna evropské směrnice o energetické náročnosti budov (EPBD 3). *TZB-info* [online]. 2018, 2018, **2018**(-), - [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/17969-zmena-evropska-smernice-o-energeticke-narocnosti-budov-epbd-3>
- [4] ČSN EN ISO 13792. Tepelné chování budov: Výpočet vnitřních teplot v místnosti v letním období bez strojního chlazení - Zjednodušené metody. ČR: ÚNMZ, 2012.
- [5] ČSN 73 0540-1. Tepelná ochrana budov: Část 1: Terminologie. ČR: ČNI, 2005.
- [6] ČSN 73 0540-2: 2011 + Z1: 2012. *Tepelná ochrana budov: Část 2: Požadavky.* ČR: ÚNMZ, 2011.
- [7] ČSN 73 0540-3. Tepelná ochrana budov: Část 3: Návrhové hodnoty veličin. ČR: ČNI, 2005.
- [8] ČSN 73 0540-4. Tepelná ochrana budov: Část 4: Výpočtové metody. ČR: ČNI, 2005.
- [9] ČSN EN ISO 6946. Stavební prvky a stavební konstrukce: Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda. ČR: ČNI, 2008.

-
- [10] ČSN EN ISO 13788. Tepelně-vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků: Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce - Výpočtové metody. ČR: ÚNMZ, 2013.
- [11] ČSN EN 12831. Tepelné soustavy v budovách: Výpočet tepelného výkonu. ČR: ČNI, 2005.
- [12] ČSN EN 15265. Energetická náročnost budov - Výpočet potřeby tepla na vytápění a chlazení dynamickými metodami: Obecná kritéria a ověřovací postupy. ČR: ČNI, 2008.
- [13] ČSN 06 0220. Tepelné soustavy v budovách: Dynamické stavy. ČR: ČNI, 2006.
- [14] ČSN EN ISO 13790. Energetická náročnost budov: Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení. ČR: ÚNMZ, 2009
- [15] ČSN EN ISO 52016-1: Energetická náročnost budov - Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony - *Část 1: Výpočtové postupy*. 2019. Praha: ÚNMZ, 2019.
- [16] VOGEL, Petr, Petr KOTEK, Jan ANTONÍN, Lucie ŠANCOVÁ, František MACHOLDA a Jiří BERANOVSKÝ. Rozdělení spotřeby tepla na vytápění na příkladu panelového domu. *TZB-info* [online]. 2010 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/regenerace-bytovych-domu/6952-rozdeleni-spotreby-tepla-na-vytapeni-na-prikladu-paneloveho-domu>
- [17] GERLICH, Vladimír. Ověření možnosti využití programu COMSOL Multiphysics jako prostředí pro simulace tepelného chování systémů s akumulací. Zlín, 2012. Disertační práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [18] JUDKOFF, R. a J. NEYMARK. International Energy Agency Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method: Technical Report. In: *National Renewable Energy Laboratory* [online]. 1995 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: <http://www.nrel.gov/docs/legosti/old/6231.pdf>
- [19] WINGFIELD, J., MILES-SHENTON, D. and BELL, M., *Comparison of Measured versus Predicted Heat Loss for New Build UK Dwellings*, Unpublished Data, Leeds Metropolitan University, Leeds, UK.
-

- [20] HENS, H., A. JANSSENS, W. DEPRAETERE, J. CARMELIET, J. LECOMPTE. Brick cavity walls: a performance analysis based on measurements and simulations. *Journal of Building Physics* [online]. 2007, Volume 31, No. 2 [cit. 2014-04-01]. Dostupné z: <http://jen.sagepub.com/content/31/2/95.full.pdf+html>
- [21] KUNZ, John, Tobias MAILE a Vlado BAZJANAC. Summary of the Energy Analysis of the First year of the Stanford Jerry Yang & Akiko Yamazaki Environment & Energy (Y2E2) Building. *Center for Integrated Facility Engineering: Stanford University* [online]. 2009, Technical Report 183, Version 2, s. 15 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: <http://cife.stanford.edu/sites/default/files/TR183.pdf>
- [22] PIETTE, Marry Ann, Tobias KINNEY a Philip HAVES. Analysis of an Information Monitoring and Diagnostic System to Improve Building Operations. *Energy and Building* [online]. 2001, č. 33, s. 14 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: <http://imds.lbl.gov/pubs/IMDS-EB.pdf>
- [23] SCOFIELD, John H. Early Performance of a Green Academic Building. *ASHRAE Transactions* [online]. 2002, č. 108, s. 17 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: http://www.oberlin.edu/physics/Scofield/pdf_files/ashrae-2002.pdf
- [24] History of passive solar building design. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_passive_solar_building_design#cite_note-3
- [25] *Nová zelená úsporám* [online]. Praha: Státní fond životního prostředí ČR, 2020 [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/>
- [26] KABELE, Karel, Miroslav URBAN, Daniel ADAMOVSÝ, Michal KABRHEL a Roman MUSIL. Metodika výpočtu energetické náročnosti budov v ČR. *Topenářství Instalace* [online]. 2007, 2007(4/2007), 3 [cit. 2016-09-14]. Dostupné z: <http://www.topin.cz/download.php?idx=80922&di=7>
- [27] VENDLOVÁ, Lucie. Hodnocení vlivu vybraných parametrů bytových domů na jejich energetickou náročnost. Brno, 2013. Disertační práce. VUT v Brně - FAST.

-
- [28] SANTAMOURIS, M. Energy performance of residential buildings: a practical guide for energy rating and efficiency. 2. London: James, 2005. ISBN 19-029-1649-2.
- [29] *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/91/ES: o energetické náročnosti budov*. In: . Brusel: EU, 2002, ročník 2002, 2002/91/ES. Dostupné také z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0091&from=CS>
- [30] DAVID, Hubert, Michal KRAJČÍK a Dušan PETRÁŠ. PĀĎDESIATROČNÁ HISTÓRIA SMERNICE O ENERGETICKEJ HOSPODÁRNOSTI BUDOV: OD EURÓPSKEHO SPOLOČENSTVA UHLIA A OCELE K SMERNICI O ENERGETICKEJ HOSPODÁRNOSTI BUDOV: The 50 Years History behind the EPBD: From the European Coal and Steel Community to the EPBD. *ASB.sk* [online]. 2009, **2009**(-), - [cit. 2016-09-15]. Dostupné z: <http://www.asb.sk/tzb/patdesiatroczna-historia-smernice-oenergetickej-hospodarnosti-budov-od-europskeho-spolocenstva-uhlia-a-ocle-ksmernici-oenergetickej-hospodarnosti-budov>
- [31] Klimaticko-energetický balíček do roku 2020. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha: MZP, 2010 [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/klimaticko_energeticky_balicek_2020
- [32] Rámec v oblasti klimatu a energetiky do roku 2030. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha: MZP, 2019 [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/klimaticko_energeticky_ramec_2030
- [33] DORIS, Elizabeth, Jaquelin COCHRAN a Martin VORUM. Energy Efficiency Policy in the United States: Overview of Trends at Different Levels of Government. *National Renewable Energy Laboratory* [online]. 2009, **2009**(-), 63 [cit. 2016-09-16]. Dostupné z: <http://www.nrel.gov/docs/fy10osti/46532.pdf>
- [34] ŠUBRT, Roman. Energetický průkaz a energetický štítek budovy. *TZB-info* [online]. 2004, **2004**(-), - [cit. 2016-09-26]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2112-energeticky-prukaz-a-energeticky-stitek-budovy>
- [35] *Energetické hodnocení budov* [online]. Brno: Vysoké učení technické, 2015 [cit. 2016-09-26]. ISBN 978-80-214-5274-9. Dostupné z: <http://www.mpo->
-

- efekt.cz/upload/7799f3fd595eeeee1fa66875530f33e8a/4582_sfvut_brno_energeticke-hodnoceni-budov.pdf
- [36] *Nariadení Komise č. 244/2012*. In: . Brusel: EU, 2012, ročník 2012, 244/2012. Dostupné také z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:081:0018:0036:CS:PDF>
- [37] *Zákon č. 318/2012: kterým se mění zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů*. In: . Praha: MVČR, 2012, ročník 2012, 318/2012. Dostupné také z: <http://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=78282&nr=318~2F2012&rpp=15#local-content>
- [38] *Zákon 406/2000 Sb.: o hospodaření energií*. In: . Praha: ČR, 2000, ročník 2000, 406/2000 Sb. Dostupné také z: <https://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=49857&nr=406~2F2000&rpp=15#local-content>
- [39] *Vyhláška 78/2013: o energetické náročnosti budov*. In: . Praha: MVČR, 2013, ročník 2013, 78/2013. Dostupné také z: <https://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=79679&nr=78~2F2013&rpp=15#local-content>
- [40] URBAN, Miroslav a Karel KABELE. Nové požadavky na hodnocení energetické náročnosti budov od 1. dubna 2013. In: *TZB-info* [online]. Praha: TZB-info, 2013 [cit. 2016-09-21]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/9745-nove-pozadavky-na-hodnoceni-energeticke-narocnosti-budov-od-1-dubna-2013>
- [41] *Vyhláška 230/2015: kterou se mění vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov*. In: . Praha: ČR, 2015, ročník 2015, 230/2015. Dostupné také z: <https://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=84613&nr=230~2F2015&rpp=15#local-content>
- [42] NAGY, Eugen. *Nízkoenergetický a energeticky pasivní dům*. Bratislava: Jaga group, 2009. Home. ISBN 978-80-8076-077-9.

-
- [43] Energie v domácnosti. ČEZ [online]. [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/06/energdom_3.html
- [44] ČEJKA, Michal a Jan ANTONÍN. Budovy s téměř nulovou spotřebou – porovnání energetických standardů. *TZB-info* [online]. 2020, **2020**(-), 1 [cit. 2020-02-14]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/15181-budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-porovnani-energetickych-standardu>
- [45] Co je pasivní dům? *Centrum pasivního domu, z.s.* [online]. Brno: CPD, 2016 [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/co-je-pasivni-dum/t2>
- [46] BÁČOVÁ, Marie a kol. *Manuál energeticky úsporné architektury*. 1. Praha: Státní fond životního prostředí ve spolupráci s Českou komorou architektů, 2010. ISBN 978-80-904577-1-3.
- [47] CIHLÁŘ, Jiří a Juraj HAZUCHA. Pasivní domy: Základy návrhu, principy. In: *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. Brno: Centrum pasivního domu, 2007 [cit. 2016-09-01]. Dostupné z: http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/01_zaklady_1.pdf
- [48] Blower-door test. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-09-02]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Blower-door_test
- [49] ANTONÍN, Jan. Budovy s téměř nulovou spotřebou energie - Případové studie. *TZB-info* [online]. 2017, **2017**(-), - [cit. 2017-02-07]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/15188-budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie-pripadove-studie>
- [50] KUHNOVÁ, Erika a Jan BÁRTA. Pasivní, aktivní, nulový dům. Víte, co přesně tyto pojmy znamenají? *Home* [online]. 2016, **2016**(-), - [cit. 2016-09-12]. Dostupné z: <http://homebydleni.cz/dum/ned-a-pasivni-domy/pasivni-aktivni-nulovy-dum-vite-co-presne-tyto-pojmy-znamenaji/>
- [51] ČSN EN 15217. Energetická náročnost budov: Metody pro vyjádření energetické náročnosti a pro energetickou certifikaci budov. Praha: ČNI, 2008.
-

- [52] ČSN EN ISO 52 003-1. Energetická náročnost budov - Ukazatele, požadavky, kvalifikace a osvědčení: Část 1: Obecné aspekty a aplikace celkové energetické náročnosti. 2018. Štrasburk: UNMZ, 2018.
- [53] URBAN, Miroslav, Zbyněk SVOBODA, Karel KABELE, Daniel ADAMOVSKEÝ a Michael KABRHEL. *Metodika bilančního výpočtu energetické náročnosti budov* [online]. Praha, 2008 [cit. 2017-07-02]. Dostupné z: http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Vypocet_ENB_metodicka_prirucka.pdf. Metodická příručka. ČVUT v Praze.
- [54] PICHOVÁ, Lenka. Tepelné chování a energetická náročnost nízkoenergetické administrativní budovy. Brno, 2014. Diplomová práce. VUT v Brně.
- [55] URBAN, Miroslav. *Manuál pro využití výpočetního nástroje NKN* [online]. Praha, 2010 [cit. 2017-07-02]. Dostupné z: https://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/EABI/MUR_skripta_IB.pdf
- [56] TNI 73 0329. Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění: Rodinné domy. ČR: ÚNMZ, 2010.
- [57] TNI 73 0330. Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění: Bytové domy. ČR: ÚNMZ, 2010.
- [58] ČSN EN ISO 13370. Tepelné chování budov - Přenos tepla zeminou: Výpočtové metody. 1. Praha: ÚNMZ, 2019.
- [59] ČSN EN ISO 13789. Tepelné chování budov - Měrné tepelné toky prostupem tepla a větráním: Výpočtová metoda. 1. Praha: ÚNMZ, 2019.
- [60] ČSN EN ISO 13788. Tepelně-vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků - Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce: Výpočtové metody. 1. Praha: ÚNMZ, 2013.
- [61] KVĚTOŇ, Vít. Normály teploty vzduchu na území České republiky v období 1961-1990 a vybrané teplotní charakteristiky období 1961-2000: Climatological normals of air temperature of the Czech Republic in the period 1961-1990 and

- selected air temperature characteristics of the period 1961-2000. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2001, 197 p., [19] leaves of plates. ISBN 80-858-1391-2.
- [62] Energie 2016. *KCad* [online]. Praha: -, 1991 [cit. 2017-07-05]. Dostupné z: <http://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/tepelna-technika/energie/>
- [63] PAHOLOK, Igor. Simulácia ako vedecká metóda. *Electronic Journal for Philosophy 2008* [online]. 2008, [cit. 2017-02-21]. ISSN 1211-0442. Dostupné z: <http://nb.vse.cz/kfil/elogos/student/paholok08.pdf>
- [64] HORKÁ, Lucie. Optimalizace spotřeb energie v administrativní budově. Brno, 2015. Diplomová práce.
- [65] Národní metodika výpočtu energetické náročnosti budov. *TZB-info* [online]. 2006, **2006**(-), - [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3753-narodni-metodika-vypoctu-energeticke-narocnosti-budov>
- [66] Building Energy Software Tools Directory. *Energy Efficiency & Renewable Energy* [online]. 2011 [cit. 2012-07-01]. Dostupné z: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/alpha_list.cfm
- [67] DesignBuilder. *DesignBuilder* [online]. -: atelier DEK, - [cit. 2017-07-06]. Dostupné z: <http://designbuilder.cz/>
- [68] ESP-r. *University of Strathclyde* [online]. [cit. 2012-07-02]. Dostupné z: http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r_overview.htm
- [69] TRNSYS [online]. Madison (Wisconsin): Thermal Energy System Specialists, 2017 [cit. 2017-07-06]. Dostupné z: <http://www.trnsys.com/>
- [70] KŘEČEK, David. Vliv architektonického konceptu na potřebu tepla na vytápění energeticky úsporných budov pro bydlení. Brno, 2011. Disertační práce. VUT v Brně - Fakulta architektury.
- [71] TYWONIAK, Jan. *Sledování energetických vlastností pasivních domů*. Praha: Grada pro Katedru konstrukcí pozemních staveb Fakulty stavební Českého vysokého učení technického v Praze, 2012. ISBN 978-80-247-4277-9.

- [72] ČSN EN ISO 15927-4. Tepelně vlhkostní chování budov - Výpočet a uvádění klimatických dat: Část 4: Hodinová data pro posuzování roční energetické potřeby pro vytápění a chlazení. ČR: ÚNMZ, 2011.
- [73] PHPP 2007, Passivehaus Institut Darmstadt, 2007.
- [74] VÝSKALA, Miroslav. *Modelování a simulace projektů zlepšujících tepelně-technické vlastnosti budov*. Brno, 2014. Disertační práce. VUT v Brně, FAST.
- [75] Solární kolektory. *BALL Brno* [online]. Brno: BALL Brno, 2018 [cit. 2018-07-19]. Dostupné z: <http://www.ballbrno.cz/solarni-kolektory>
- [76] WOLF, Petr. Předpověď výroby fotovoltaických systémů. *Https://oze.tzb-info.cz* [online]. Praha: TZB-info, 2017 [cit. 2018-07-19]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/15928-predpoved-vyroby-fotovoltackych-systemu>
- [77] LIU, Benjamin Y.H. a Richard C. JORDAN. The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. *Solar Energy*. 1960, 4(3), 1-19. DOI: 10.1016/0038-092X(60)90062-1. ISSN 0038092X. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0038092X60900621>
- [78] SPENCER, J.W. Fourier series representation of the position of the Sun. *Search* 2 (5), 172 (1971).
- [79] DERVISHI, Sokol a Ardeshir MAHDAVI. Computing diffuse fraction of global horizontal solar radiation: A model comparison. *Solar Energy*. 2012, 86(6), 1796-1802. DOI: 10.1016/j.solener.2012.03.008. ISSN 0038092X. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X12001132>
- [80] REINDL, D.T., W.A. BECKMAN a J.A. DUFFIE. Diffuse fraction correlations. *Solar Energy*. 1990, 45(1), 1-7. ISSN 0038092x.
- [81] VRTEK, Mojmír. *Sluneční energie* [online]. Ostrava, 2012 [cit. 2020-01-29]. https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/old_web/_files/projekty/enazp/21/IUT/140_Slunecni_energie_-_Vrtek_-_P3.pdf. Studijní texty. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava - Fakulta strojní.

8.2 Seznam obrázků

Obr. 2.1: Průměrné rozdělení spotřeby energie v domácnostech ČR [42]	15
Obr. 2.2: Porovnání celkové potřeby energie RD pro jednotlivé energetické standardy [43].....	16
Obr. 2.3: Princip hodnocení ENB, porovnání ukazatelů energetické náročnosti [39]....	29
Obr. 2.4: Princip stanovení celkové dodané energie do budovy EP	31
Obr. 2.5: Uživatelské prostředí NKN [54].....	36
Obr. 2.6: Uživatelské prostředí Energie 2016 [61]	37
Obr. 2.7: Výstupní formulář PHPP 8.5	38
Obr. 2.8: Screenshots BSim 2002[65]	41
Obr. 2.9: Sceenshots DesignBuilder [65]	42
Obr. 2.10: Screenshot ESP-r [67]	42
Obr. 2.11: Screenshot TRNSYS [68].....	43
Obr. 2.12: Screenshot TRNSYS [68].....	43
Obr. 2.13: Schematické znázornění prostupu záření zemskou atmosférou [75]	46
Obr. 2.14: Rozložení globálního ozáření [74]	46
Obr. 2.15: Pyranometr se stínítkem (foto autora)	46
Obr. 4.1: Umístění vybraných budov.....	55
Obr. 4.2: Vzduchotechnická jednotka NILAN Comfort 300 (foto autora)	57
Obr. 4.3: Elektrický ohřívač vody DRAŽICE - OKCE 300 S/1 MPa (foto autora).....	57
Obr. 4.4: Infrapanel Sun WavesSW 500W-K (foto autora)	57
Obr. 4.5: Nasávání vzduchu zemního výměníku tepla (foto autora)	57
Obr. 4.6: Půdorys 1NP (hrnatý dům)	58
Obr. 4.7: Půdorys 2NP (hrnatý dům)	59
Obr. 4.8: Svislý řez (hrnatý dům)	59
Obr. 4.9: Umístění meteorologické stanice WH1080 na střeše jednoho z objektů (foto autora)	60
Obr. 4.10: Meteorologické stanice WH1080	60
Obr. 4.11: SKUTEČNOST - Ukázka průběhu naměřené venkovní teploty během monitorovaného období	61
Obr. 4.12: SKUTEČNOST - Ukázka průběhu naměřené relativní vlhkosti venkovního vzduchu během monitorovaného	62
Obr. 4.13: Pyranometr FLA 628 S (foto autora).....	63
Obr. 4.14: Umístění pyranometru na střeše objektu (foto autora)	63

Obr. 4.15: SKUTEČNOST - Graficky znázorněná data globálního ozáření za celé měřené období.....	63
Obr. 4.16: SKUTEČNOST - Grafické znázornění vypočítaných hodnot extraterestrální insolace (aktuální hodnoty sluneční konstanty).....	64
Obr. 4.17: SKUTEČNOST - Grafické znázornění vypočítaných hodnot výšky slunce například pro 21. června (nejvyšší hodnoty v roce) a 21. Prosince (nejnižší hodnoty v roce)	65
Obr. 4.18: Náhled na 20 (z 12 143) vypočítaných hodnot difuzního a přímého slunečního ozáření	66
Obr. 4.19: SKUTEČNOST - Grafické znázornění rozdělení naměřeného globálního ozáření na difuzní a přímou složku.....	67
Obr. 4.20: Datalogger OMEGA OM-EL-USB-2.....	68
Obr. 4.21: Umístění dataloggerů v 1NP	68
Obr. 4.22: Umístění dataloggerů ve 2NP	68
Obr. 4.23: SKUTEČNOST - Naměřené vnitřní veličiny v obývacím pokoji během monitorovaného období	68
Obr. 4.24: Měřič spotřeby elektřiny FHT-9992 a SOLIGHT DT23	69
Obr. 4.25: Digitální elektroměr 1F na DIN lištu jednofázový HT-1YD	69
Obr. 4.26: Umístění elektroměrů v 1NP	70
Obr. 4.27: Umístění elektroměrů ve 2NP	70
Obr. 4.28: SKUTEČNOST - Skutečně naměřená spotřeba elektřiny celého domu	71
Obr. 5.1: PHPP 8.5 - Porovnání skutečně naměřené venkovní teploty v Rapoticích a teploty klimatických dat vstupujících do PHPP pro Brno-venkov	78
Obr. 5.2: PHPP 8.5 - Porovnání průměrných měsíčních skutečně naměřených venkovních teplot v Rapoticích a teplot klimadat vstupujících do PHPP 8.5(Brno-venkov)	79
Obr. 5.3: PHPP 8.5 - Porovnání skutečně naměřených měsíčních dávek globálního ozáření v Rapoticích a dávek z klimadat vstupujících do PHPP 8.5(Brno-venkov)	80
Obr. 5.4: PHPP 8.5 (Brno-venkov) – Ukázka výstupní tabulky v PHPP 8.5 (2013).....	81
Obr. 5.5: PHPP 8.5 (Brno-venkov) - Vypočtená spotřeba elektřiny celého domu.....	82
Obr. 5.6:PHPP 8.5 (skutečná klimadata) - Vypočtená spotřeba elektřiny celého domu	84
Obr. 5.7: PHPP 8.5 - Porovnání skutečně změřené spotřeby elektřiny celého domu v Rapoticích a výsledku výpočtu v nástroji PHPP 8.5(Brno-venkov).....	85
Obr. 5.8: PHPP 8.5 - Porovnání celkové změřené roční spotřeby elektřiny domu v Rapoticích s výpočtem v PHPP (rozdělení do 5 hlavních kategorií).....	86

Obr. 5.9: ENERGIE 2015 LT – Porovnání skutečně naměřené venkovní teploty v Rapoticích a teploty klimatických dat vstupujících do ENERGIE 2015 LT (Brno) ...	91
Obr. 5.10: ENERGIE 2015 LT – Porovnání průměrných měsíčních skutečně naměřených venkovních teplot v Rapoticích a teplot klimadat vstupujících do ENERGIE 2015 LT (Brno).....	92
Obr. 5.11: ENERGIE 2015 LT - Porovnání skutečně naměřených měsíčních dávek globálního ozáření v Rapotcích a dávek z klimadat vstupujících do ENERGIE 2015 LT (Brno).....	92
Obr. 5.12: ENERGIE 2015 LT (Brno) – Měsíční dodané energie	93
Obr. 5.13: ENERGIE 2015 LT (Brno) - Vypočtená spotřeba elektřiny celého domu ...	94
Obr. 5.14: ENERGIE 2015 LT (Skutečná klimadata) - Vypočtená spotřeba elektřiny celého domu	96
Obr. 5.15: ENERGIE 2015 LT - Porovnání skutečně změřené spotřeby elektřiny celého domu v Rapoticích a výsledku výpočtu v programu ENERGIE 2015 LT	97
Obr. 5.16: ENERGIE 2015 LT - Porovnání celkové změřené roční spotřeby elektřiny s výpočtem v ENERGIE 2015 LT (rozdělení do 5 hlavních kategorií).....	98
Obr. 5.17: TRNSYS 16 – Schéma výpočtového modelu zájmového objektu.....	100
Obr. 5.18: TRNSYS 16 – Ukázka definice zóny v Type 56 b – Multizone Building ..	101
Obr. 5.19: TRNSYS16 – Řídící profily vytápění	106
Obr. 5.20: TRNSYS16 – Řídící profily přítomnosti osob	107
Obr. 5.21: TRNSYS16 – Porovnání skutečně naměřené venkovní teploty v Rapoticích a teplot klimatických dat vstupujících do TRNSYS (TMY2-Brno; RKR-Brno; RKR-Rapotice).....	108
Obr. 5.22: TRNSYS 16 – Porovnání průměrných měsíčních skutečně naměřených venkovních teplot v Rapoticích a teplot klimadat vstupujících do TRNSYS (TMY2-Brno; RKR-Brno; RKR-Rapotice).....	109
Obr. 5.23: TRNSYS 16 - Porovnání skutečně naměřených měsíčních dávek globálního ozáření na vodorovnou plochu v Rapotcích a dávek z klimadat vstupujících do TRNSYS	110
Obr. 5.24: TRNSYS 16 – Průběh teplot vnitřního vzduchu v jednotlivých zónách (místnostech).....	111
Obr. 5.25: TRNSYS 16 (TMY2 – Brno) - Vypočtená spotřeba elektřiny celého domu	113
Obr. 5.26: TRNSYS 16 (RKR – Brno) - Vypočtená spotřeba elektřiny celého domu	115

Obr. 5.27: TRNSYS 16 (RKR - Rapotice) - Vypočtená spotřeba elektřiny celého domu	116
Obr. 5.28: TRNSYS 16 (skutečná klimadata) - Vypočtená spotřeba elektřiny celého domu	117
Obr. 5.29: TRNSYS 16 – Porovnání skutečně změřené spotřeby elektřiny celého domu v Rapoticích a výsledku simulace v programu TRNSYS 16.....	118
Obr. 5.30: TRNSYS 16 - Porovnání celkové změřené roční spotřeby elektřiny se simulací v TRNSYS 16 (rozdělení do 5 hlavních kategorií)	120
Obr. 6.1: VYTÁPĚNÍ – Porovnání měsíčních spotřeb energie na vytápění pro jednotlivé zvolené provozní režimy T1 až T8	129
Obr. 6.2: VYTÁPĚNÍ – Porovnání ročních spotřeba energie na vytápění pro jednotlivé zvolené provozní režimy T1 až T8	130
Obr. 6.3: CHLAZENÍ – Porovnání měsíčních spotřeb energie na chlazení pro jednotlivé zvolené provozní režimy CH1 až CH6	133
Obr. 6.4: CHLAZENÍ – Porovnání ročních spotřeba energie na chlazení pro jednotlivé zvolené provozní režimy CH1 až CH6	134
Obr. 6.5: VĚTRÁNÍ – Specifikace kritické místnosti	136
Obr. 6.6: VĚTRÁNÍ – Porovnání vlivu provozních režimů větrání V1 až V10 na celkovou ENB.....	139
Obr. 6.7: ZVT – Porovnání vlivu provozních režimů Z1 až Z8 na celkovou ENB.....	143
Obr. 6.8: STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ I – Porovnání vlivu provozních režimů S1 až S8 na celkovou ENB.....	148
Obr. 6.9: STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ II – Porovnání vlivu provozních režimů S1+CH4 až S8+CH4 na celkovou ENB	152
Obr. 6.10: OPTIMALIZACE – Kombinace variant	154
Obr. 6.11: OPTIMALIZACE – Porovnání vlivu vzájemného spolupůsobení vybraných variant na celkovou ENB	157

8.3 Seznam tabulek

Tab. 2.1: Rozdělení budov podle charakteristiky a roční potřeby tepla na vytápění [43]	16
Tab. 2.2: Základní vlastnosti pasivních budov [6].....	19
Tab. 2.3: Cíle EU v oblasti energetiky [30], [31]	23
Tab. 2.4: Energetické klasifikační třídy dle vyhlášky č. 78/2013 Sb.[38].....	27
Tab. 2.5: Přehled nejčastějších dlouhodobých měření a vybavení [70]	45
Tab. 2.6: Porovnávání modely a jejich vstupní parametry [78]	48
Tab. 4.1: Základní údaje o budově (foto autora)	56
Tab. 4.2: Technická data objektu (hranatý dům)	57
Tab. 5.1: PHPP 8.5 - Rozdělení záložek v PHPP 8.5 (2013).....	75
Tab. 5.2: PHPP 8.5 (Brno-venkov) - Vstupní hodnoty do výpočtu PHPP	77
Tab. 5.3: PHPP 8.5 - Rozdíly mezi skutečně naměřenými daty a výpočtem PHPP	86
Tab. 5.4: ENERGIE 2015 LT (Brno) - Vstupní hodnoty do výpočtu ENERGIE	88
Tab. 5.5: ENERGIE 2015 LT - Rozdíly mezi skutečně naměřenými daty a výpočtem v ENERGIE 2015 LT	98
Tab. 5.6: TRNSYS 16 (TMY2-Brno) - Vstupní hodnoty do výpočtu TRNSYS.....	102
Tab. 5.7: TRNSYS 16 - Porovnání průměrných měsíčních skutečně naměřených venkovních teplot v Rapoticích a teplot klimadat vstupujících do TRNSYS (TMY2-Brno; RKR-Brno; RKR-Rapotice).....	109
Tab. 5.8: TRNSYS 16 - Porovnání skutečně naměřených měsíčních dávek globálního ozáření na vodorovnou plochu v Rapotcích a dávek z klimadat vstupujících do TRNSYS	110
Tab. 5.9: TRNSYS 16 - Rozdíly mezi skutečně naměřenými daty a simulací v TRNSYS	119
Tab. 6.1: VYTÁPĚNÍ – Popis jednotlivých variant	126
Tab. 6.2: VYTÁPĚNÍ – Vliv provozních režimů na potřebu energie na vytápění....	128
Tab. 6.3: VYTÁPĚNÍ - Rozdíly mezi provozními režimy T1 až T8	130
Tab. 6.4: CHLAZENÍ – Popis jednotlivých variant	131
Tab. 6.5: CHLAZENÍ – Vliv provozních režimů potřebu energie na chlazení.....	132
Tab. 6.6: CHLAZENÍ - Rozdíly mezi provozními režimy CH1 až CH6	134
Tab. 6.7: VĚTRÁNÍ – Popis jednotlivých variant.....	135
Tab. 6.8: VĚTRÁNÍ – Vliv provozních režimů	137
Tab. 6.9: VĚTRÁNÍ - Rozdíly mezi provozními režimy V1 až V10	138

Tab. 6.10: ZVT – Popis jednotlivých variant	140
Tab. 6.11: ZVT – Vliv provozních režimů	142
Tab. 6.12: ZVT - Rozdíly mezi provozními režimy Z1 až Z8.....	144
Tab. 6.13: STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ I – Popis jednotlivých variant.....	146
Tab. 6.14: STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ I – Vliv provozních režimů.....	147
Tab. 6.15: STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ I - Rozdíly mezi provozními režimy S1 až S8	149
Tab. 6.16: STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ II – Vliv provozních režimů	151
Tab. 6.17: STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ II - Rozdíly mezi provozními režimy S1+CH4 až S8+CH4	153
Tab. 6.18: OPTIMALIZACE – Popis jednotlivých variant.....	154
Tab. 6.19: OPTIMALIZACE – Vliv vybraných variant	156
Tab. 6.20: OPTIMALIZACE - Rozdíly mezi vybranými variantami	158

8.4 Seznam použitých symbolů a zkratek

označení	název	jednotka
\varnothing	relativní vlhkost vzduchu	%
ΔU_{tbn}	průměrný vliv tepelných vazeb na hranici budovy	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
$\Delta\theta_{\text{ai}}$	přirážka k návrhové vnitřní teplotě	$^{\circ}\text{C}$
$\Delta\theta_{\text{v}}(t)$	pokles výsledné teploty místnosti v zimním období	$^{\circ}\text{C}$
A	celková plocha konstrukcí ohraničujících vytápěný objem budovy	m^2
A_{f}	plocha rámu	m^2
A_{g}	plocha zasklení	m^2
A_{j}	plocha j-té teplosměnné konstrukce	m^2
b_{j}	teplotní redukční činitel j-té teplosměnné konstrukce	-
D	pořadové číslo dne v měsíci	
d_{j}	tloušťka j-té vrstvy konstrukce	m
E_{a}	roční měrná potřeba tepla na vytápění	$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$
f_{Rsi}	vypočtený nejnižší teplotní faktor vnitřního povrchu konstrukce	-
$f_{\text{Rsi,cr}}$	kritický teplotní faktor vnitřního povrchu	-
g	solární faktor	-
H_{T}	měrný tepelný tok prostupem tepla budovy	$\text{W}^1\cdot\text{K}^{-1}$
I	globální sluneční ozáření	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
I_{d}	difuzní sluneční ozáření	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
I_{ext}	extraterestrální insolace	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
I_{sc}	solární konstanta při průměrné vzdálenosti slunce a země	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
k_{d}	podíl difúzního záření	-
k_{t}	index jasnosti	-
l_{g}	celkový viditelný obvod zasklení	m
l_{i}	délka i-té tepelné vazby na hranici budovy	m
M	pořadové číslo měsíce v roce	
M_{c}	zkondenzované množství vodní páry	$\text{kg}^1\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$
M_{r}	roční množství zkondenzované vodní páry	$\text{kg}^1\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$
n	intenzita větrání	h^{-1}
n	den v roce	
n_{50}	vzduchotěsnost obálky při rozdílu tlaku 50 Pa	h^{-1}
NPE_{A}	roční měrná neobnovitelná primární energie	$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$
p	tkal vzduchu	Pa
R	tepelný odpor	$\text{m}^2\cdot\text{K}^1\cdot\text{W}^{-1}$
R	skutečná vzdálenost mezi sluncem a zemí v závislosti na dni v roce	
R_{av}	průměrná vzdálenost mezi Sluncem a Zemí	
R_{se}	odpor při prostupu tepla na vnější	$\text{m}^2\cdot\text{K}^1\cdot\text{W}^{-1}$
R_{si}	odpor při prostupu tepla na vnitřní straně	$\text{m}^2\cdot\text{K}^1\cdot\text{W}^{-1}$

R_T	odpor při prostupu tepla	$m^2 \cdot K^1 \cdot W^{-1}$
t	časový úhel s počátkem ve 12:00	°
U	součinitel prostupu tepla	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
$U_{em,N}$	normou požadovaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
$U_{em,rec}$	průměrný součinitel prostupu tepla	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
$U_{em,rec}$	doporučená hodnota průměrného součinitele prostupu tepla	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
U_f	součinitel prostupu tepla rámu	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
U_g	součinitel prostupu tepla zasklení	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
$U_{N,20}$	normou požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
$U_{pas,20}$	doporučená hodnota součinitele prostupu tepla pro pasivní budovy	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
$U_{rec,20}$	doporučená hodnota součinitele prostupu tepla	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
U_w	součinitel prostupu tepla stavební výplně	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
α	výška slunce nad obzorem	°
δ	deklinace slunce	°
θ_{ai}	návrhová teplota vnitřního vzduchu	°C
$\theta_{ai,max}$	nejvyšší denní teplota vzduchu	°C
θ_e	návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období	°C
θ_i	návrhová vnitřní teplota	°C
λ_j	součinitel tepelné vodivosti j-té vrstvy	$W^1 \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
τ	datový úhel	°
ϕ	zeměpisná šířka	
χ	vypočtený bodový činitel prostupu tepla	$W^1 \cdot K^{-1}$
ψ	vypočtený lineární činitel prostupu tepla tepelné vazby	$W^1 \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
ψ_g	lineární činitel prostupu tepla v uložení zasklení	$W^1 \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$

Zkratky	
EPBD	Energy Performance Building Directive
TZB	technické zařízení budov
RD	rodinný dům
PENB	Průkaz energetické náročnosti budovy
TV	teplá voda
PD	pasivní dům
VZT	vzduchotechnika
ENB	energetická náročnost budovy
TRY	Test Reference Year
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning
TMY2	Typical Meteorological Year, Version 2
RKR	Referenční klimatický rok
VBA	Visual Basic for Applications
ZVT	Zemní výměník tepla

9 PŘÍLOHY

9.1 Příloha č. I: Komplexní tepelnětechnické posouzení stavebních konstrukcí obálky budovy „hranatého“ domu

ZÁKLADNÍ KOMPLEXNÍ TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZENÍ STAVEBNÍ KONSTRUKCE

podle ČSN EN ISO 13788, ČSN EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

Teplo 2010

Název úlohy : **S1_stěna**
Zpracovatel : Libor Šteffek
Zakázka :
Datum : 28.5.2013

KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT :

Typ hodnocené konstrukce : Stěna
Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m²K

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m ³]	Mi[-]	Ma[kg/m ²]
1	Sádrová omítka	0.0150	0.5700	1000.0	1300.0	10.0	0.0000
2	Ytong P4-600	0.2000	0.2030	1000.0	600.0	7.0	0.0000
3	Lepicí malta E	0.0050	0.3000	840.0	520.0	20.0	0.0000
4	Isover EPS Gre	0.3000	0.0330	1270.0	16.0	30.0	0.0000
5	Cemix 135 - Le	0.0040	0.5700	1200.0	1550.0	20.0	0.0000
6	Cemix Silikons	0.0020	0.6500	840.0	1600.0	49.0	0.0000

Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi : 0.13 m²K/W
dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot Rsi : 0.25 m²K/W
Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse : 0.04 m²K/W
dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot Rse : 0.04 m²K/W

Návrhová venkovní teplota Te : -17.0 C
Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai : 20.0 C
Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe : 85.0 %
Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RH_i : 55.0 %

Měsíc	Délka[dny]	Tai[C]	RHi[%]	Pi[Pa]	Te[C]	RHe[%]	Pe[Pa]
1	31	20.0	44.7	1044.6	-3.0	81.4	387.0
2	28	20.0	47.5	1110.1	-1.0	80.8	454.1
3	31	20.0	50.2	1173.1	2.8	79.4	592.9
4	30	20.0	54.1	1264.3	7.8	77.4	818.7
5	31	20.0	60.4	1411.5	12.8	74.4	1099.3
6	30	20.0	65.5	1530.7	16.0	71.9	1306.6
7	31	20.0	68.1	1591.5	17.5	70.4	1407.2
8	31	20.0	67.2	1570.4	17.0	70.9	1373.1
9	30	20.0	61.0	1425.5	13.2	74.2	1125.4
10	31	20.0	54.5	1273.6	8.2	77.2	839.1
11	30	20.0	50.2	1173.1	2.7	79.6	590.2
12	31	20.0	47.4	1107.7	-1.1	80.7	449.8

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přirážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %
Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem dle ČSN EN ISO 13788.
Počet hodnocených let : 1

TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :

Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:

Tepelný odpor konstrukce R : 10.13 m²K/W

Součinitel prostupu tepla konstrukce U :	0.097 W/m ² K
Součinitel prostupu zabudované kce U _{kc} :	0.12 / 0.15 / 0.20 / 0.30 W/m ² K
Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírazkou dle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.	
Difuzní odpor konstrukce Z _{pT} :	5.8E+0010 m/s
Teplotní útlum konstrukce N _y * :	482.3
Fázový posun teplotního kmitu Psi* :	12.2 h

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T _{si,p} :	19.11 C
Teplotní faktor v návrhových podmínkách f _{Rsi,p} :	0.976

Číslo měsíce	Minimální požadované hodnoty při max. rel. vlhkosti na vnitřním povrchu:				Vypočtené hodnoty		
----- 80% -----			----- 100% -----				
Tsi,m[C]	f,Rsi,m		Tsi,m[C]	f,Rsi,m	Tsi[C]	f,Rsi	RHsi[%]
1	10.9	0.606	7.6	0.462	19.4	0.976	46.3
2	11.8	0.612	8.5	0.453	19.5	0.976	49.0
3	12.7	0.575	9.3	0.380	19.6	0.976	51.5
4	13.8	0.494	10.4	0.217	19.7	0.976	55.1
5	15.5	0.380	12.1	-----	19.8	0.976	61.0
6	16.8	0.202	13.3	-----	19.9	0.976	65.9
7	17.4	-----	13.9	-----	19.9	0.976	68.4
8	17.2	0.071	13.7	-----	19.9	0.976	67.5
9	15.7	0.367	12.3	-----	19.8	0.976	61.6
10	13.9	0.487	10.6	0.200	19.7	0.976	55.5
11	12.7	0.577	9.3	0.383	19.6	0.976	51.5
12	11.8	0.612	8.5	0.454	19.5	0.976	48.9

Poznámka: RH_{si} je relativní vlhkost na vnitřním povrchu,
T_{si} je vnitřní povrchová teplota a f_{Rsi} je teplotní faktor.

**Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:
(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)**

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	e
tepl.[C]:	19.1	19.0	15.5	15.5	-16.8	-16.8	-16.9
p [Pa]:	1285	1269	1118	1107	135	127	116
p,sat [Pa]:	2212	2199	1762	1756	139	139	139

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna	Hranice kondenzační zóny	Kondenzující množství
číslo	levá [m] pravá	vodní páry [kg/m ² s]
1	0.4157	0.4851 1.089E-0008

Celoroční bilance vlhkosti:

Množství zkondenzované vodní páry M _{c,a} :	0.005 kg/m ² ,rok
Množství vypařitelné vodní páry M _{ev,a} :	1.162 kg/m ² ,rok
Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než -10.0 C.	

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:**Roční cyklus č. 1**

V konstrukci nedochází během modelového roku ke kondenzaci.

Poznámka: Hodnocení difuze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

STOP, Teplo 2010

**ZÁKLADNÍ KOMPLEXNÍ TEPELNÉ TECHNICKÉ
POSOUZENÍ STAVEBNÍ KONSTRUKCE**

podle ČSN EN ISO 13788, ČSN EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

Teplo 2010

Název úlohy : **P1_podlaha**
 Zpracovatel : Libor Šteffek
 Zakázka :
 Datum : 28.5.2013

KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT :

Typ hodnocené konstrukce : Podlaha - výpočet poklesu dotykové teploty
 Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m²K

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m ³]	Mi[-]	Ma[kg/m ²]
1	Podlahové liño	0.0025	0.1700	1400.0	1200.0	1000.0	0.0000
2	Beton hutný 1	0.0225	1.2300	1020.0	2100.0	17.0	0.0000
3	Asfaltový nátě	0.0030	0.2100	1470.0	1400.0	1200.0	0.0000
4	Železobeton 1	0.2500	1.4300	1020.0	2300.0	23.0	0.0000
5	Isover EPS Per	0.2000	0.0340	1270.0	30.0	70.0	0.0000

Okrajové podmínky výpočtu :

Teplotní odpor při přestupu tepla v interiéru R_{si} : 0.17 m²K/W
 Teplotní odpor při přestupu tepla v exteriéru R_{se} : 0.00 m²K/W

Návrhová venkovní teplota T_e : 5.0 C
 Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai} : 20.0 C
 Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu R_{He} : 100.0 %
 Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu R_{Hi} : 55.0 %

TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :**Teplotní odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:**

Teplotní odpor konstrukce R : 6.10 m²K/W
 Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.159 W/m²K

Součinitel prostupu zabudované kce U_k : 0.18 / 0.21 / 0.26 / 0.36 W/m²K
 Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou dle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Difuzní odpor konstrukce Z_{pT} : 1.4E+0011 m/s

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách T_{si,p} : 19.41 C
 Teplotní faktor v návrhových podmínkách f_{Rsi,p} : 0.961

Pokles dotykové teploty podlahy dle ČSN 730540:

Teplotní jímavost podlahové konstrukce B : 1244.62 Ws/m²K

Pokles dotykové teploty podlahy DeltaT : 7.07 C

STOP, Teplo 2010

ZÁKLADNÍ KOMPLEXNÍ TEPELNĚ TECHNICKÉ POSOUZENÍ STAVEBNÍ KONSTRUKCE

podle ČSN EN ISO 13788, ČSN EN ISO 6946, ČSN 730540 a STN 730540

Teplo 2010

Název úlohy : **V1_střecha**
 Zpracovatel : Libor Šteffek
 Zakázka :

Datum : 28.5.2013

KONTROLNÍ TISK VSTUPNÍCH DAT :

Typ hodnocené konstrukce : Strop, střecha - tepelný tok zdola
 Korekce součinitele prostupu dU : 0.000 W/m²K

Skladba konstrukce (od interiéru) :

Číslo	Název	D[m]	L[W/mK]	C[J/kgK]	Ro[kg/m ³]	Mi[-]	Ma[kg/m ²]
1	Jutadach 135	0.0002	0.3900	1700.0	675.0	100.0	0.0000
2	Isover EPS 70F	0.3500	0.0390	1270.0	16.0	30.0	0.0000
3	Stropní konstr	0.2100	0.8750	800.0	800.0	20.0	0.0000
4	Sádrová omítka	0.0150	0.5700	1000.0	1300.0	10.0	0.0000

Okrajové podmínky výpočtu :

Tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru Rsi : 0.10 m²K/W
 dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot Rsi : 0.25 m²K/W
 Tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru Rse : 0.04 m²K/W
 dtto pro výpočet kondenzace a povrch. teplot Rse : 0.04 m²K/W

Návrhová venkovní teplota Te : -17.0 C
 Návrhová teplota vnitřního vzduchu Tai : 20.0 C
 Návrhová relativní vlhkost venkovního vzduchu RHe : 85.0 %
 Návrhová relativní vlhkost vnitřního vzduchu RHi : 55.0 %

Měsíc	Délka[dny]	Tai[C]	RHi[%]	Pi[Pa]	Te[C]	RHe[%]	Pe[Pa]
1	31	20.0	56.2	1313.4	-3.0	81.4	387.0
2	28	20.0	59.1	1381.1	-1.0	80.8	454.1
3	31	20.0	60.2	1406.8	2.8	79.4	592.9
4	30	20.0	61.2	1430.2	7.8	77.4	818.7
5	31	20.0	64.5	1507.3	12.8	74.4	1099.3
6	30	20.0	67.8	1584.5	16.0	71.9	1306.6
7	31	20.0	69.5	1624.2	17.5	70.4	1407.2
8	31	20.0	69.0	1612.5	17.0	70.9	1373.1
9	30	20.0	64.9	1516.7	13.2	74.2	1125.4
10	31	20.0	61.4	1434.9	8.2	77.2	839.1
11	30	20.0	60.2	1406.8	2.7	79.6	590.2
12	31	20.0	58.9	1376.5	-1.1	80.7	449.8

Pro vnitřní prostředí byla uplatněna přírážka k vnitřní relativní vlhkosti : 5.0 %
 Výchozí měsíc výpočtu bilance se stanovuje výpočtem dle ČSN EN ISO 13788.
 Počet hodnocených let : 1

TISK VÝSLEDKŮ VYŠETŘOVÁNÍ :**Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla dle ČSN EN ISO 6946:**

Tepelný odpor konstrukce R : 9.24 m²K/W
 Součinitel prostupu tepla konstrukce U : 0.107 W/m²K

Součinitel prostupu zabudované kce U_{kc} : 0.13 / 0.16 / 0.21 / 0.31 W/m²K
 Uvedené orientační hodnoty platí pro různou kvalitu řešení tep. mostů vyjádřenou přibližnou přírážkou dle poznámek k čl. B.9.2 v ČSN 730540-4.

Difuzní odpor konstrukce ZpT : 7.9E+0010 m/s
 Teplotní útlum konstrukce Ny* : 198.2
 Fázový posun teplotního kmitu Psi* : 8.0 h

Teplota vnitřního povrchu a teplotní faktor dle ČSN 730540 a ČSN EN ISO 13788:

Vnitřní povrchová teplota v návrhových podmínkách Tsi,p : 19.03 C
 Teplotní faktor v návrhových podmínkách f_{Rsi,p} : 0.974

Číslo měsíce Minimální požadované hodnoty při max. rel. vlhkosti na vnitřním povrchu: Vypočtené hodnoty

----- 80% -----				----- 100% -----				
Tsi,m[C]		f,Rsi,m		Tsi,m[C]	f,Rsi,m	Tsi[C]	f,Rsi	RHsi[%]
1	14.4	0.757		11.0	0.609	19.4	0.974	58.3
2	15.2	0.771		11.8	0.608	19.4	0.974	61.2
3	15.5	0.738		12.1	0.538	19.5	0.974	61.9
4	15.7	0.651		12.3	0.369	19.7	0.974	62.4
5	16.6	0.523		13.1	0.042	19.8	0.974	65.3
6	17.4	0.339		13.9	-----	19.9	0.974	68.2
7	17.7	0.099		14.3	-----	19.9	0.974	69.8

8	17.6	0.211	14.1	-----	19.9	0.974	69.3
9	16.7	0.509	13.2	0.000	19.8	0.974	65.6
10	15.8	0.644	12.4	0.352	19.7	0.974	62.6
11	15.5	0.739	12.1	0.541	19.5	0.974	61.9
12	15.1	0.770	11.7	0.608	19.4	0.974	61.0

Poznámka: RHsi je relativní vlhkost na vnitřním povrchu,
Tsi je vnitřní povrchová teplota a f,Rsi je teplotní faktor.

Difuze vodní páry v návrhových podmínkách a bilance vlhkosti dle ČSN 730540:
(bez vlivu zabudované vlhkosti a sluneční radiace)

Průběh teplot a tlaků v návrhových okrajových podmínkách:

rozhraní:	i	1-2	2-3	3-4	e
tepl.[C]:	19.0	19.0	-15.8	-16.7	-16.8
p [Pa]:	1285	1284	458	128	116
p,sat [Pa]:	2200	2200	153	140	139

Při venkovní návrhové teplotě dochází v konstrukci ke kondenzaci vodní páry.

Kond.zóna	Hranice kondenzační zóny		Kondenzující množství	
číslo	levá	[m] pravá	vodní páry [kg/m2s]	
1	0.2349	0.3502	2.270E-0008	

Celoroční bilance vlhkosti:

Množství zkondenzované vodní páry Mc,a: 0.102 kg/m2,rok

Množství vypařitelné vodní páry Mev,a: 0.416 kg/m2,rok

Ke kondenzaci dochází při venkovní teplotě nižší než 5.0 C.

Bilance zkondenzované a vypařené vlhkosti dle ČSN EN ISO 13788:

Roční cyklus č. 1

V konstrukci dochází během modelového roku ke kondenzaci.

Kondenzační zóna č. 1

Hranice kondenzační zóny		Akt.kond./vypař.		Akumul.vlhkost	Ma [kg/m2]
Měsíc	levá	[m]	pravá	Gc [kg/m2s]	
11	0.3502	0.3502	3.76E-0009	0.0097	
12	0.3502	0.3502	8.53E-0009	0.0326	
1	0.3502	0.3502	9.88E-0009	0.0591	
2	0.3502	0.3502	8.51E-0009	0.0797	
3	0.3502	0.3502	3.54E-0009	0.0891	
4	0.3502	0.3502	-5.77E-0009	0.0742	
5	0.3502	0.3502	-1.83E-0008	0.0252	
6	---	---	-2.89E-0008	0.0000	
7	---	---	---	---	
8	---	---	---	---	
9	---	---	---	---	
10	---	---	---	---	

Maximální množství kondenzátu Mc,a: 0.0891 kg/m2

Na konci modelového roku je zóna suchá (tj. Mc,a < Mev,a).

Poznámka: Hodnocení difuze vodní páry bylo provedeno pro předpoklad 1D šíření vodní páry převažující skladbou konstrukce. Pro konstrukce s výraznými systematickými tepelnými mosty je výsledek výpočtu jen orientační. Přesnější výsledky lze získat s pomocí 2D analýzy.

STOP, Teplota 2010

9.2 Příloha č. 2: Charakteristika průsvitných ochlazovaných konstrukcí

Technická specifikace oken:

- a) Dřevohliníková okna OPTIWIN „Alu2Holz“
-> součinitel prostupu tepla rámu okna: $U_f = 0,93 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
- b) Vyplnění dutiny zasklení vzácným plynem (argon,...)
-> součinitel prostupu tepla zasklení: $U_g = 0,58 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
- c) Zasklení izolačním trojsklem, tl. 44 mm (4+16+4+16+4)
-> celková propustnost slunečního záření: $g = 0,66$
- d) Distanční rámeček se zlepšenou tepelnou ochranou
-> lineární činitel prostupu tepla průsvitné výplně: $\psi_g = 0,034 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Výpočet tepelnětechnických vlastností jednotlivých výplní otvorů proveden na základě geometrických vlastností dle: ČSN EN ISO 10077-1:

Orientace - označení	Umístění	b [m]	h [m]	A_w [m ²]	b_f [m]	n_{sl} [ks]	b_{sl} [m]	A_g [m ²]	A_f [m ²]	l_g [m]	F_{gl} [%]	U_g [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	U_f [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	ψ_g [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Počet	ΣA_w [m ²]	U_w [W·m ⁻² ·K ⁻¹]
----------------------------	----------	---------	---------	-------------------------	-----------	---------------	--------------	-------------------------	-------------------------	-----------	--------------	--	--	---	-------	--------------------------------	--

J 2000x2250	1NP	2,0	2,25	4,50	0,118	0	0	3,55	0,95	7,56	0,79	0,58	0,93	0,034	3	13,50	0,71	
J - 1NP											0,79						13,50	0,71

J 2000x1250	2NP	2,0	1,25	2,50	0,118	0	0	1,79	0,71	5,56	0,72	0,58	0,93	0,034	3	7,50	0,76	
J - 2NP											0,72						7,50	0,76

V 750x750	2NP	0,75	0,75	0,56	0,118	0	0	0,26	0,30	2,06	0,46	0,58	0,93	0,034	1	0,56	0,89
V - 2NP											0,46					0,56	0,89

S 750x750	1NP	0,75	0,75	0,56	0,118	0	0	0,26	0,30	2,06	0,46	0,58	0,93	0,034	2	1,12	0,89
S 1000x1250	1NP	1,0	1,25	1,25	0,118	0	0	0,77	0,48	3,56	0,62	0,58	0,93	0,034	1	1,25	0,81
S - 1NP											0,54					2,37	0,85

S 750x750	2NP	0,75	0,75	0,56	0,118	0	0	0,26	0,30	2,06	0,46	0,58	0,93	0,034	1	0,56	0,89
S - 2NP											0,46					0,56	0,89

Z 2250x2250	1NP	2,25	2,25	5,06	0,118	0	0	4,06	1,00	8,06	0,80	0,58	0,93	0,034	1	5,06	0,70
Z - 1NP											0,80					5,06	0,70

Z 2250x750	2NP	2,25	0,75	1,69	0,118	0	0	1,04	0,65	5,06	0,62	0,58	0,93	0,034	1	1,69	0,82
Z - 2NP											0,62					1,69	0,82

Vstupní dveře	1NP	1,25	2,25	2,81			-			0		-			1	2,81	0,54
Vstupní dveře										0						2,81	0,54

Legenda:

b Šířka okenního otvoru [m]
 h Výška okenního otvoru [m]
 A_w Plocha okenního otvoru [m²]
 b_f Šířka rámu [m]
 n_{sl} Počet sloupků
 b_{sl} Šířka sloupku [m]
 A_g Plocha zasklení [m²]

A_f Plocha rámu [m²]
 F_g Korekční činitel zasklení [-]
 l_g Délka distančního rámečku [m]
 U_g Součinitel prostupu tepla zasklení [W·m⁻²·K⁻¹]
 U_f Součinitel prostupu tepla rámu [W·m⁻²·K⁻¹]
 ψ_g Lineární činitel prostupu tepla [W·m⁻¹·K⁻¹]
 U_w Součinitel prostupu tepla okna [W·m⁻²·K⁻¹]

9.3 Příloha č. 3: SKUTEČNOST – Náhled na výpočet extraterestrální insolace (aktuální hodnoty sluneční konstanty) a výšky slunce

číslo	čas	den	den v roce	parametr b [-]	sluneční konstanta I_{sc} [$W \cdot m^{-2}$]	$(R_{zv}/R)^2$ [-]	Extraterestrální insolace I_{ext} [$W \cdot m^{-2}$]
25	5.6.2014 18:00	5	156	2,67	1367	0,97059	1327
26	5.6.2014 19:00	5	156	2,67	1367	0,97059	1327
27	5.6.2014 20:00	5	156	2,67	1367	0,97059	1327
28	5.6.2014 21:00	5	156	2,67	1367	0,97059	1327
29	5.6.2014 22:00	5	156	2,67	1367	0,97059	1327
30	5.6.2014 23:00	5	156	2,67	1367	0,97059	1327
31	6.6.2014 0:00	6	157	2,69	1367	0,97033	1326
32	6.6.2014 1:00	6	157	2,69	1367	0,97033	1326
33	6.6.2014 2:00	6	157	2,69	1367	0,97033	1326
34	6.6.2014 3:00	6	157	2,69	1367	0,97033	1326
35	6.6.2014 4:00	6	157	2,69	1367	0,97033	1326
36	6.6.2014 5:00	6	157	2,69	1367	0,97033	1326
37	6.6.2014 6:00	6	157	2,69	1367	0,97033	1326
38	6.6.2014 7:00	6	157	2,69	1367	0,97033	1326
39	6.6.2014 8:00	6	157	2,69	1367	0,97033	1326
40	6.6.2014 9:00	6	157	2,69	1367	0,97033	1326
41	6.6.2014 10:00	6	157	2,69	1367	0,97033	1326
42	6.6.2014 11:00	6	157	2,69	1367	0,97033	1326
43	6.6.2014 12:00	6	157	2,69	1367	0,97033	1326
44	6.6.2014 13:00	6	157	2,69	1367	0,97033	1326
45	6.6.2014 14:00	6	157	2,69	1367	0,97033	1326

číslo	zeměpisná šířka lokality φ		čas	měsíc v roce	den v měsíci	hodina	časový úhel s počátkem ve 12:00 t		datový úhel τ		deklinace Slunce δ		výška Slunce nad obzorem $\sin \alpha$	
	[°]	[rad]					[°]	[rad]	[°]	[rad]	[°]	[rad]	[°]	kladné [°]
1	49,18736	0,858481	4.6.2014 18:00	6	4	18	90	1,571	182,12	3,179	22,44	0,392	0,2889	0,2889
2			4.6.2014 19:00	6	4	19	105	1,833	182,12	3,179	22,44	0,392	0,1325	0,1325
3			4.6.2014 20:00	6	4	20	120	2,094	182,12	3,179	22,44	0,392	-0,0132	0,0000
4			4.6.2014 21:00	6	4	21	135	2,356	182,12	3,179	22,44	0,392	-0,1383	0,0000
5			4.6.2014 22:00	6	4	22	150	2,618	182,12	3,179	22,44	0,392	-0,2343	0,0000
6			4.6.2014 23:00	6	4	23	165	2,880	182,12	3,179	22,44	0,392	-0,2946	0,0000
7			5.6.2014 0:00	6	5	0	-180	-3,142	183,10	3,196	22,55	0,394	-0,3133	0,0000
8			5.6.2014 1:00	6	5	1	-165	-2,880	183,10	3,196	22,55	0,394	-0,2928	0,0000
9			5.6.2014 2:00	6	5	2	-150	-2,618	183,10	3,196	22,55	0,394	-0,2325	0,0000
10			5.6.2014 3:00	6	5	3	-135	-2,356	183,10	3,196	22,55	0,394	-0,1365	0,0000
11			5.6.2014 4:00	6	5	4	-120	-2,094	183,10	3,196	22,55	0,394	-0,0115	0,0000
12			5.6.2014 5:00	6	5	5	-105	-1,833	183,10	3,196	22,55	0,394	0,1341	0,1341
13			5.6.2014 6:00	6	5	6	-90	-1,571	183,10	3,196	22,55	0,394	0,2903	0,2903
14			5.6.2014 7:00	6	5	7	-75	-1,309	183,10	3,196	22,55	0,394	0,4465	0,4465
15			5.6.2014 8:00	6	5	8	-60	-1,047	183,10	3,196	22,55	0,394	0,5921	0,5921
16			5.6.2014 9:00	6	5	9	-45	-0,785	183,10	3,196	22,55	0,394	0,7171	0,7171
17			5.6.2014 10:00	6	5	10	-30	-0,524	183,10	3,196	22,55	0,394	0,8130	0,8130
18			5.6.2014 11:00	6	5	11	-15	-0,262	183,10	3,196	22,55	0,394	0,8733	0,8733
19			5.6.2014 12:00	6	5	12	0	0,000	183,10	3,196	22,55	0,394	0,8939	0,8939
20			5.6.2014 13:00	6	5	13	15	0,262	183,10	3,196	22,55	0,394	0,8733	0,8733

9.4 Příloha č. 4: SKUTEČNOST - Měsíční záznam odečtů z měřičů elektřiny

Podlaží	Ozn.	Název elektroměru	31.3 2014	Březen	4.5 2014	Duben	3.6 2014	Květen	3.7 2014	Červen	3.8 2014	Červenec	2.9 2014	Srpen
1NP	1	Mikrovlnná trouba	1,46	0,88	3,55	2,09	4,60	1,05	6,55	1,95	7,50	0,95	8,44	0,94
	2	Trouba	4,37	1,62	11,48	7,11	18,45	6,97	23,71	5,26	31,52	7,81	35,52	4,00
	3	Varná deska	44,30	8,30	59,70	15,40	69,50	9,80	80,20	10,70	90,30	10,10	98,60	8,30
	4	Rychlovarná konvice	5,00	2,10	9,30	4,30	11,40	2,10	14,00	2,60	19,00	5,00	21,80	2,80
	5	Mýčka	13,63	10,56	26,41	12,78	39,69	13,28	52,14	12,45	62,79	10,64	70,09	7,30
	6	Lednička	23,21	18,79	46,99	23,78	68,67	21,68	93,14	24,47	121,91	28,77	146,62	24,71
	7	Roboticíky vysavač	9,60	5,00	14,40	4,80	19,10	4,70	23,90	4,80	28,90	5,00	33,30	4,40
	8	VZT Nilan	10,96	8,62	22,23	11,27	32,50	10,27	50,10	17,60	69,37	19,27	83,29	13,92
	9	Zásobník TV	331,20	141,19	477,60	146,40	604,10	126,50	719,80	115,70	839,80	120,00	934,50	94,70
	10	Elektrický topný žebřík - 1NP	53,70	0,00	53,70	0,00	53,70	0,00	53,70	0,00	53,70	0,00	53,70	0,00
2NP	11	Právka	5,10	3,60	9,80	4,70	13,70	3,90	18,60	4,90	20,80	2,20	23,40	2,60
	12	Infra panel (vlevo) - oby. pokoj 1NP	414,15	0,00	414,15	0,00	414,15	0,00	414,15	0,00	414,15	0,00	414,15	0,00
	13	Infra panel (uprostřed) - pokoj 2NP	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00
	14	Infra panel (vpravo) - pokoj roh 2NP	212,90	4,68	212,90	0,00	212,90	0,00	212,90	0,00	212,90	0,00	212,90	0,00
	15	Domovní telefon	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	16	Přímotop (hosp. pokoj)	3,40	0,00	3,40	0,20	3,60	0,00	3,60	0,00	3,60	0,00	3,60	0,00
	17	WC - bidetové sedátko	13,00	6,70	16,60	3,60	16,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	18	Elektrický topný žebřík - 2NP	121,30	0,00	121,30	0,00	121,30	0,00	121,30	0,00	121,30	0,00	121,30	0,00
	19	PC sestava	31,20	15,10	50,60	19,40	66,50	15,90	84,40	17,90	98,80	14,40	112,20	13,40
	20	Ložnice (přímotop)	44,30	3,30	44,30	0,00	44,30	0,00	44,30	0,00	44,30	0,00	44,30	0,00
HL elektroměr	21	Náhradní (obyčejný)	223,60	2,10	227,00	3,40	230,60	3,60	233,50	3,30	237,40	3,50	239,50	2,10
		Nízký tarif	11500,80	264,70	11779,50	278,70	12024,80	245,30	12266,30	241,50	12514,30	248,00	12720,10	205,80
Osvětlení		Vysoký tarif	1067,30	22,90	1012,20	33,90	1126,00	24,80	1158,30	32,30	1187,80	29,50	1211,30	23,50
		(D25-D26) - suma(D4+D24)	x	55,06	x	53,37	x	50,35	x	52,17	x	49,86	x	50,13

Podlaží	Ozn.	Název elektroměru	1.10 2014	Září	27.10 2014	Říjen	4.12 2014	Lистопад	31.12 2014	Prosinec	1.2 2015	Leden	2.3 2015	Únor
1NP	1	Mikrovlnná trouba	10,03	1,59	12,25	2,22	15,08	2,83	16,47	1,39	17,90	1,43	18,95	1,05
	2	Trouba	47,58	12,06	56,50	9,92	58,63	2,13	68,73	10,10	72,58	3,85	80,44	7,86
	3	Varná deska	107,80	9,20	117,70	8,90	135,10	17,40	149,30	14,20	164,40	15,10	174,60	10,20
	4	Rychlovarná konvice	24,80	3,00	30,70	5,90	32,60	1,90	39,60	7,00	47,30	7,70	52,10	4,80
	5	Mýčka	81,12	11,03	88,85	7,73	96,68	7,83	112,46	15,79	127,47	15,01	140,00	12,53
	6	Lednička	171,85	25,24	191,84	19,99	214,68	22,84	230,54	15,86	249,23	18,69	265,86	16,64
	7	Roboticíky vysavač	37,30	4,00	41,00	3,70	44,70	3,70	48,50	3,80	53,40	4,90	57,40	4,00
	8	VZT Nilan	93,77	10,48	102,22	8,45	117,14	14,92	126,79	9,05	136,02	9,83	144,95	8,93
	9	Zásobník TV	1037,30	102,80	1138,20	100,90	1292,50	154,30	1416,10	123,60	1569,10	153,00	1707,60	138,50
	10	Elektrický topný žebřík - 1NP	53,70	0,00	53,70	0,00	53,70	0,00	53,70	0,00	53,70	0,00	53,70	0,00
2NP	11	Právka	26,00	2,60	29,20	3,20	32,00	2,80	38,50	6,50	41,90	3,40	45,50	3,60
	12	Infra panel (vlevo) - oby. pokoj 1NP	414,15	0,00	414,15	0,00	414,15	0,00	414,15	0,00	414,15	0,00	414,15	0,00
	13	Infra panel (uprostřed) - pokoj 2NP	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00
	14	Infra panel (vpravo) - pokoj roh 2NP	212,90	0,00	212,90	0,00	212,90	0,00	212,90	0,00	212,90	0,00	212,90	0,00
	15	Domovní telefon	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	16	Přímotop (hosp. pokoj)	3,60	0,00	3,70	0,10	3,70	0,00	3,70	0,00	3,70	0,00	3,70	0,00
	17	WC - bidetové sedátko	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	18	Elektrický topný žebřík - 2NP	121,30	0,00	121,30	0,00	121,30	0,00	121,30	0,00	121,30	0,00	121,30	0,00
	19	PC sestava	127,40	15,20	140,30	12,90	152,80	12,50	166,80	14,00	180,00	13,20	194,20	14,20
	20	Ložnice (přímotop)	44,30	0,00	44,30	0,00	44,30	0,00	44,30	0,00	44,30	0,00	44,30	0,00
HL elektroměr	21	Náhradní (obyčejný)	244,00	4,50	246,60	2,60	252,90	6,30	258,20	5,30	261,40	3,20	266,00	4,60
		Nízký tarif	12942,80	222,70	13144,70	201,90	13399,30	274,60	14589,70	270,40	14959,80	295,10	15399,50	239,90
Osvětlení		Vysoký tarif	1240,80	29,50	1267,70	26,90	1338,80	61,10	1394,80	66,00	1461,80	87,00	1555,40	73,60
		(D25-D26) - suma(D4+D24)	x	50,40	x	42,26	x	104,48	x	58,40	x	69,27	x	55,01

9.5 Příloha č. 5: ENERGIE 2015 LT - Výpočet energetické náročnosti budovy

VÝPOČET ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOV A PRŮMĚRNÉHO SOUČinitele PROSTUPU TEPLA podle vyhlášky č. 78/2013 Sb. a ČSN 730540-2

a podle EN ISO 13790, EN ISO 13789 a EN ISO 13370

Energie 2015 LT

Název úlohy: **RD Tomkovi**
Zpracovatel: Ing. Libor Šteffek
Zakázka: disertace
Datum: 5.7.2019

ZADANÉ OKRAJOVÉ PODMÍNKY:

Počet zón v budově: 1
Typ výpočtu potřeby energie: měsíční (pro jednotlivé měsíce v roce)

Okrajové podmínky výpočtu:

Název období	Počet dnů	Teplota exteriéru	Celková energie globálního slunečního záření [MJ/m2]				
			Sever	Jih	Východ	Západ	Horizont
leden	31	-2,5 C	54,0	137,0	72,0	72,0	90,0
únor	28	-0,3 C	86,0	205,0	119,0	119,0	158,0
březen	31	3,8 C	126,0	281,0	187,0	187,0	299,0
duben	30	9,0 C	158,0	295,0	241,0	241,0	418,0
květen	31	13,9 C	212,0	328,0	313,0	313,0	569,0
červen	30	17,0 C	223,0	306,0	313,0	313,0	576,0
červenec	31	18,5 C	227,0	335,0	338,0	338,0	619,0
srpen	31	18,1 C	187,0	335,0	292,0	292,0	518,0
září	30	14,3 C	133,0	288,0	205,0	205,0	346,0
říjen	31	9,1 C	90,0	263,0	144,0	144,0	234,0
listopad	30	3,5 C	50,0	130,0	68,0	68,0	104,0
prosinec	31	-0,6 C	43,0	112,0	54,0	54,0	72,0

Název období	Počet dnů	Teplota exteriéru	Celková energie globálního slunečního záření [MJ/m2]			
			SV	SZ	JV	JZ
leden	31	-2,5 C	54,0	54,0	112,0	112,0
únor	28	-0,3 C	86,0	86,0	173,0	173,0
březen	31	3,8 C	126,0	126,0	245,0	245,0
duben	30	9,0 C	158,0	158,0	281,0	281,0
květen	31	13,9 C	202,0	202,0	338,0	338,0
červen	30	17,0 C	209,0	209,0	320,0	320,0
červenec	31	18,5 C	212,0	212,0	353,0	353,0
srpen	31	18,1 C	184,0	184,0	331,0	331,0
září	30	14,3 C	133,0	133,0	259,0	259,0
říjen	31	9,1 C	90,0	90,0	220,0	220,0
listopad	30	3,5 C	50,0	50,0	108,0	108,0
prosinec	31	-0,6 C	43,0	43,0	90,0	90,0

PARAMETRY JEDNOTLIVÝCH ZÓN V BUDOVĚ :

PARAMETRY ZÓNY Č. 1 :

Základní popis zóny

Název zóny: hranatý dům

Typ zóny pro určení Uem,N:	nová obytná budova
Typ zóny pro refer. budovu:	rodinný dům
Typ hodnocení:	budova s téměř nulovou spotřebou energie
Obsazenost zóny:	78,8 m2/osobu
Uvažovaný počet osob v zóně:	2,0 (použije se pro stanovení roční potřeby teplé vody)
Objem z vnějších rozměrů:	635,4 m3
Podlah. plocha (celková vnitřní):	157,5 m2
Celk. energet. vztažná plocha:	195,5 m2
Účinná vnitřní tepelná kapacita:	27,6 MJ/K
Vnitřní teplota (zima/léto):	20,0 C / 20,0 C
Zóna je vytápěna/chlazená:	ano / ne
Typ vytápění:	nepřerušované
Regulace otopné soustavy:	ano
Průměrné vnitřní zisky:	361 W
..... odvozeny pro	<ul style="list-style-type: none"> · produkci tepla: 1,5+3,0 W/m2 (osoby+spotřebiče) · časový podíl produkce: 70+20 % (osoby+spotřebiče) · zohlednění spotřebičů: zisky i spotřeba · minimální přípustnou osvětlenost: 50,0 lx · měrný příkon osvětlení: 0,05 W/(m2.lx) · činitel obsazenosti 1,0 a závislosti na denním světle 1,0 · roční dobu využití osvětlení ve dne/v noci: 1600 / 1200 h · prům. účinnost osvětlení: 20 % · další tepelné zisky: 0,0 W
Potřeba tepla na přípravu TV:	4805,96 MJ/rok
..... odvozeno pro	<ul style="list-style-type: none"> · denní potřebu teplé vody: 35,0 l/(osobu.den) · roční potřebu teplé vody: 25,6 m3 · teplotní rozdíl pro ohřev: (55,0 - 10,0) C
Zpětně získané teplo mimo VZT:	0,0 MJ/rok

Zdroje tepla na vytápění v zóně

Teplovzdušné vytápění:	ne
<u>Zdroj tepla č. 1 a na něj napojená otopná soustava:</u>	
Název zdroje tepla:	infrapanely (podíl 100,0 %)
Typ zdroje tepla:	obecný zdroj tepla (např. kotel)
Účinnost výroby tepla:	100,0 %
Účinnost sdílení/distribuce:	96,0 % / 100,0 %
Příkon čerpadel vytápění:	0,0 W (max. příkon)
Příkon regulace/emise tepla:	0,0 / 0,0 W

Ventilátory systémů nuceného větrání, vytápění a chlazení vzduchem

Prům. měrný příkon VZT jednotky:	1620,0 Ws/m3 (platí pro 2 ventilátory: přívodní a odvodní)
Váhový činitel regulace:	0,7

Zdroje tepla na přípravu TV v zóně

Název zdroje tepla:	bojler (podíl 100,0 %)
Typ zdroje přípravy TV:	obecný zdroj tepla (např. kotel)
Účinnost zdroje přípravy TV:	99,0 %
Objem zásobníku TV:	300,0 l
Měrná tep. ztráta zásobníku TV:	5,0 Wh/(l.d)
Délka rozvodů TV:	15,0 m
Měrná tep. ztráta rozvodů TV:	15,0 Wh/(m.d)
Příkon čerpadel distribuce TV:	0,0 W
Příkon regulace:	0,0 W

Měrný tepelný tok větráním zóny č. 1 :

Objem vzduchu v zóně:	373,997 m3
Podíl vzduchu z objemu zóny:	58,9 %
Typ větrání zóny:	nucené (mechanický větrací systém)
Objem.tok přiváděného vzduchu:	55,5 m3/h
Objem.tok odváděného vzduchu:	55,5 m3/h
Násobnost výměny při dP=50Pa:	0,44 1/h
Součinitel větrné expozice e:	0,01
Součinitel větrné expozice f:	20,0

Účinnost zpětného získávání tepla: 75,0 %
 Podíl času s nuceným větráním: 100,0 %
 Ve výpočtu byly použity zadané teploty přiváděného vzduchu.
 Měrný tepelný tok větráním Hv: 5,122 W/K

Měrný tepelný tok prostupem mezi zónou č. 1 a exteriérem :

Název konstrukce [W/m ² K]	Plocha [m ²]	U [W/m ² K]	b [-]	H,T [W/K]	U,N,20
S1_stěna	229,35	0,097	1,00	22,247	0,300
V1_střecha	98,27	0,107	1,00	10,515	0,240
okna S_2NP	0,56 (0,75x0,75 x 1)	0,890	1,00	0,501	1,500
okna S_1NP	2,37 (1,0x2,37 x 1)	0,850	1,00	2,014	1,500
okna J_1NP	13,5 (2,0x2,25 x 3)	0,710	1,00	9,585	1,500
okna J_2NP	7,5 (2,0x1,25 x 3)	0,760	1,00	5,700	1,500
okna V_2NP	0,56 (0,75x0,75 x 1)	0,890	1,00	0,501	1,500
dveře V	2,81 (1,25x2,25 x 1)	0,540	1,00	1,519	1,500
okna Z_1NP	5,06 (2,25x2,25 x 1)	0,700	1,00	3,544	1,500
okna Z_2NP	1,69 (2,25x0,75 x 1)	0,820	1,00	1,384	1,500

Vysvětlivky: U je součinitel prostupu tepla konstrukce; b je činitel teplotní redukce; H,T je měrný tok prostupem tepla a U,N,20 je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla podle ČSN 730540-2 pro T_{int}=20 °C.

Název liniového tep.mostu	Délka [m]	Psi [W/mK]	b [-]
roh	26,05	-0,052	1,00
stěna střecha	11,5	-0,040	1,00
stěna střecha	28,59	-0,051	1,00
věvec	40,0	0,003	1,00
ička	2,93	0,004	1,00
sokl	40,0	-0,020	1,00
okna S_2NP - ostění	1,5	0,020	1,00
okna S_2NP - nadpraží	0,75	0,020	1,00
okna S_2NP - parapet	0,75	0,020	1,00
okna S_1NP - ostění	4,74	0,020	1,00
okna S_1NP - nadpraží	1,0	0,020	1,00
okna S_1NP - parapet	1,0	0,020	1,00
okna J_1NP - ostění	13,5	0,020	1,00
okna J_1NP - nadpraží	6,0	0,020	1,00
okna J_1NP - parapet	6,0	0,020	1,00
okna J_2NP - ostění	7,5	0,020	1,00
okna J_2NP - nadpraží	6,0	0,020	1,00
okna J_2NP - parapet	6,0	0,020	1,00
okna V_2NP - ostění	1,5	0,020	1,00
okna V_2NP - nadpraží	0,75	0,020	1,00
okna V_2NP - parapet	0,75	0,020	1,00
dveře V - ostění	4,5	0,020	1,00
dveře V - nadpraží	1,25	0,020	1,00
dveře V - parapet	1,25	0,020	1,00
okna Z_1NP - ostění	4,5	0,020	1,00
okna Z_1NP - nadpraží	2,25	0,020	1,00
okna Z_1NP - parapet	2,25	0,020	1,00
okna Z_2NP - ostění	1,5	0,020	1,00
okna Z_2NP - nadpraží	2,25	0,020	1,00
okna Z_2NP - parapet	2,25	0,020	1,00

Měrný tok prostupem do exteriéru plošnými konstrukcemi Hd,c: 57,509 W/K
 a příslušnými tepelnými vazbami Hd,tb: -2,346 W/K

Měrný tepelný tok prostupem zeminou u zóny č. 1 :

1. konstrukce ve styku se

zeminou

Název konstrukce:	P1_podlaha
Tepelná vodivost zeminy:	2,0 W/mK
Plocha podlahy:	97,75 m ²
Exponovaný obvod podlahy:	40,0 m
Lin. činitel v napojení stěny:	-0,02 W/mK
Součinitel vlivu spodní vody Gw:	1,0
Typ podlahové konstrukce:	podlaha na terénu

Tloušťka obvodové stěny:	0,5 m
Tepelný odpor podlahy:	6,1 m ² K/W
Přídavná okrajová izolace:	není
Součinitel prostupu tepla bez vlivu zeminy U _f :	0,159 W/m ² K
Požadovaná hodnota souč. prostupu U _{N,20} :	0,45 W/m ² K
Činitel teplotní redukce b:	0,82
Souč.prostupu mezi interiérem a exteriérem U:	0,13 W/m ² K
Ustálený měrný tok zeminou H _g :	11,933 W/K
Kolísání ekv. měsíčních měrných toků H _{g,m} :	od 9,191 do 48,271 W/K
..... stanoveno pro periodické toky H _{pi} / H _{pe} :	13,22 / 6,4 W/K
Celkový ustálený měrný tok zeminou H_g:	12,733 W/K
..... a příslušnými tep. vazbami H _{g,tb} :	-0,800 W/K
Kolísání celk. ekv. měsíčních měrných toků H _{g,m} :	od 9,191 do 48,271 W/K

Solární zisky stavebními konstrukcemi zóny č. 1 :

Zeměpisná šířka lokality: 50,0 st. sev. šířky

		Markýza		Levá stěna		Pravá stěna		
Celk.	Název výplně otvoru	Orientace	Úhel	F,ov	Úhel	F,finL	Úhel	F,finR
	F,fin							
	okna S_2NP	S	----	1,000	----	-----	----	-----
	1,000							
	okna S_1NP	S	----	1,000	----	-----	----	-----
	1,000							
	okna J_1NP	J	----	0,550	----	-----	----	-----
	1,000							
	okna J_2NP	J	----	1,000	----	-----	----	-----
	1,000							
	okna V_2NP	V	----	1,000	----	-----	----	-----
	1,000							
	dveře V	V	----	1,000	----	-----	----	-----
	1,000							
	okna Z_1NP	Z	----	1,000	----	-----	----	-----
	1,000							
	okna Z_2NP	Z	----	1,000	----	-----	----	-----
	1,000							
	Název výplně otvoru	Orientace	Okolí / Horiz.		Celkový		Způsob stanovení	
stínění			Úhel	F,hor	činitel Fsh		celk. činitele	
	okna S_2NP	S	----	0,900	0,900		přímé zadání	
uživatелеm								
	okna S_1NP	S	----	0,600	0,600		přímé zadání	
uživatелеm								
	okna J_1NP	J	----	0,600	0,330		přímé zadání	
uživatелеm								
	okna J_2NP	J	----	0,900	0,900		přímé zadání	
uživatелеm								
	okna V_2NP	V	----	0,900	0,900		přímé zadání	
uživatелеm								
	dveře V	V	----	0,600	0,600		přímé zadání	
uživatелеm								
	okna Z_1NP	Z	----	0,600	0,600		přímé zadání	
uživatелеm								
	okna Z_2NP	Z	----	0,900	0,900		přímé zadání	
uživatелеm								
Vysvětlivky: F,ov je korekční činitel stínění markýzou, F,finL je korekční činitel stínění levou boční stěnou/žebrem (při pohledu zevnitř), F,finR je korekční činitel stínění pravou boční stěnou, F,fin je souhrnný korekční činitel stínění bočními stěnami, F,hor je korekční činitel stínění horizontem (okolím budovy) a úhel je příslušný stínící úhel.								
	Název konstrukce	Plocha [m2]	g/alfa [-]	Fgl/Ff [-]	Fc,h/Fc,c [-]	Fsh [-]		
	Orientace							
	okna S_2NP	0,56	0,66	0,46/0,54	1,00/1,00	0,9		
	S (90°)							
	okna S_1NP	2,37	0,66	0,54/0,46	1,00/1,00	0,6		
	S (90°)							
	okna J_1NP	13,5	0,66	0,79/0,21	1,00/0,35*	0,33		
	J (90°)							

						*čas. podíl 100,0% (vyt.) a 57,3%
(chlaz.)	okna J_2NP	7,5	0,66	0,72/0,28	1,00/0,35*	0,9
	J (90°)					
						*čas. podíl 100,0% (vyt.) a 57,3%
(chlaz.)	okna V_2NP	0,56	0,66	0,46/0,54	1,00/0,35*	0,9
	V (90°)					
						*čas. podíl 100,0% (vyt.) a 47,5%
(chlaz.)	dveře V	2,81	0,0	0,0/1,0	1,00/1,00	0,6
	V (90°)					
	okna Z_1NP	5,06	0,66	0,8/0,2	1,00/0,35*	0,6
	Z (90°)					
						*čas. podíl 100,0% (vyt.) a 49,2%
(chlaz.)	okna Z_2NP	1,69	0,66	0,62/0,38	1,00/0,35*	0,9
	Z (90°)					
						*čas. podíl 100,0% (vyt.) a 49,2%
(chlaz.)						
Vysvětlivky:	g je propustnost slunečního záření zasklení v průsvitných konstrukcích; alfa je pohltivost slunečního záření					
vnějšího	povrchu neprůsvitných konstrukcí; Fgl je korekční činitel zasklení (podíl plochy zasklení k celkové ploše okna); Ff je korekční činitel rámu (podíl plochy rámu k celk. ploše okna); Fc,h je korekční činitel clonění pohyblivými					
clonami	pro režim vytápění; Fc,c je korekční činitel clonění pro režim chlazení a Fsh je korekční činitel stínění					
nepohyblivými	částmi budovy a okolní zástavbou.					

Celkový solární zisk konstrukcemi Qs (MJ):

Měsíc:	1	2	3	4	5	6
Zisk (vytápění):	868,2	1326,3	1873,9	2078,3	2428,8	2325,8
Měsíc:	7	8	9	10	11	12
Zisk (vytápění):	2526,1	2403,8	1951,5	1670,9	822,4	698,6

PŘEHLEDNÉ VÝSLEDKY VÝPOČTU PRO JEDNOTLIVÉ ZÓNY :**VÝSLEDKY VÝPOČTU PRO ZÓNU Č. 1 :**

Název zóny:	hranatý dům
Vnitřní teplota (zima/léto):	20,0 C / 20,0 C
Zóna je vytápěna/chlazená:	ano / ne
Regulace otopné soustavy:	ano

Měrný tepelný tok větráním Hv:	5,122 W/K
Měrný tok prostupem do exteriéru Hd:	55,163 W/K
Ustálený měrný tok zeminou Hg:	11,933 W/K
Měrný tok prostupem nevytápěnými prostory Hu,t:	---
Měrný tok větráním nevytápěnými prostory Hu,v:	---
Měrný tok Trombeho stěnami H,tw:	---
Měrný tok větráními stěnami H,vw:	---
Měrný tok prvky s transparentní izolací H,ti:	---
Přídavný měrný tok podlahovým vytápěním dHt:	---
Výsledný měrný tok H:	71,762 W/K

Potřeba tepla na vytápění po měsících:

Měsíc	Q,H,ht[GJ]	Q,int[GJ]	Q,sol[GJ]	Q,gn [GJ]	Eta,H [-]	fH [%]	Q,H,nd[GJ]
1	4,159	1,106	0,868	1,974	0,999	100,0	2,187
2	3,408	0,933	1,326	2,259	0,989	100,0	1,174
3	3,048	0,977	1,874	2,850	0,920	86,0	0,427
4	2,057	0,895	2,078	2,974	0,692	0,0	---
5	1,258	0,885	2,429	3,314	0,380	0,0	---
6	0,688	0,843	2,326	3,169	0,217	0,0	---
7	0,443	0,871	2,526	3,397	0,130	0,0	---
8	0,508	0,885	2,404	3,289	0,154	0,0	---
9	1,141	0,901	1,951	2,852	0,400	0,0	---
10	2,101	0,974	1,671	2,645	0,766	28,6	0,076
11	2,995	0,997	0,822	1,820	0,994	100,0	1,187
12	3,820	1,101	0,699	1,799	0,999	100,0	2,023

Vysvětlivky: Q,H,ht je potřeba tepla na pokrytí tepelné ztráty; Q,int jsou vnitřní tepelné zisky; Q,sol jsou solární

tepelné zisky; Q_{gn} jsou celkové tepelné zisky; $\eta_{ta,H}$ je stupeň využitelnosti tepelných zisků; fH je část měsíce, v níž musí být zóna s regulovaným vytápěním vytápěna, a $Q_{H,nd}$ je potřeba tepla na vytápění.

Potřeba tepla na vytápění za rok $Q_{H,nd}$: 7,074 GJ

Roční energetická bilance výplní otvorů:

Název výplně otvoru $U_{eq,max}$	Orientace	QI [GJ]	$Q_{s,ini}$ [GJ]	Q_s [GJ]	Q_s/QI	$U_{eq,min}$
okna S_2NP 0,7	S	0,178	0,220	0,106	0,59	-0,9
okna S_1NP 0,7	S	0,718	0,725	0,350	0,49	-0,6
okna J_1NP 0,4	J	3,416	6,303	3,441	1,01	-1,0
okna J_2NP 0,0	J	2,032	8,704	4,752	2,34	-3,4
okna V_2NP 0,6	V	0,178	0,325	0,155	0,87	-1,8
dveře V 0,5	V	0,541	0,000	0,000	0,00	0,5
okna Z_1NP 0,4	Z	1,263	3,386	1,614	1,28	-2,4
okna Z_2NP 0,5	Z	0,493	1,312	0,625	1,27	-2,8

Vysvětlivky: QI je potřeba tepla na pokrytí tepelné ztráty prostupem za rok; $Q_{s,ini}$ jsou celkové solární zisky za rok; Q_s jsou využitelné solární zisky za rok; Q_s/QI je poměr ukazující, kolikrát jsou využitelné solární zisky vyšší než ztráty prostupem, $U_{eq,min}$ je nejnižší ekvivalentní součinitel prostupu tepla okna (rozdíl $QI - Q_s$ vydělený plochou okna a počtem deno-
stupňů) během roku a $U_{eq,max}$ je nejvyšší ekvivalentní součinitel prostupu tepla okna během roku.

Energie dodaná do zóny po měsících:

Měsíc	$Q_{f,H}$ [GJ]	$Q_{f,C}$ [GJ]	$Q_{f,RH}$ [GJ]	$Q_{f,F}$ [GJ]	$Q_{f,W}$ [GJ]	$Q_{f,L}$ [GJ]	$Q_{f,A}$ [GJ]
Q_{fuel} [GJ]							
1	2,278	---	---	0,047	0,599	0,765	---
3,690							
2	1,223	---	---	0,042	0,580	0,609	---
2,454							
3	0,444	---	---	0,047	0,599	0,604	---
1,694							
4	---	---	---	0,045	0,593	0,522	---
1,160							
5	---	---	---	0,047	0,599	0,489	---
1,135							
6	---	---	---	0,045	0,593	0,457	---
1,095							
7	---	---	---	0,047	0,599	0,472	---
1,118							
8	---	---	---	0,047	0,599	0,489	---
1,135							
9	---	---	---	0,045	0,593	0,529	---
1,167							
10	0,080	---	---	0,047	0,599	0,600	---
1,326							
11	1,236	---	---	0,045	0,593	0,649	---
2,524							
12	2,107	---	---	0,047	0,599	0,759	---
3,511							

Vysvětlivky: $Q_{f,H}$ je vypočtená spotřeba energie na vytápění; $Q_{f,C}$ je vypočtená spotřeba energie na chlazení; $Q_{f,RH}$ je vypočtená spotřeba energie na úpravu vlhkosti vzduchu; $Q_{f,F}$ je vypočtená spotřeba energie na nucené větrání; $Q_{f,W}$ je vypočtená spotřeba energie na přípravu teplé vody; $Q_{f,L}$ je vypočtená spotřeba energie na osvětlení (popř. i na spotřebiče); $Q_{f,A}$ je pomocná energie (čerpadla, regulace atd.) a Q_{fuel} je celková dodaná energie. Všechny hodnoty zohledňují vlivy účinností technických systémů.

Celková roční dodaná energie Q_{fuel} : 22,009 GJ

Průměrný součinitel prostupu tepla zóny

Měrný tepelný tok prostupem obálkou zóny H_t : 66,6 W/K
Plocha obalových konstrukcí zóny: 459,4 m²

Výchozí hodnota požadavku na průměrný součinitel prostupu tepla podle čl. 5.3.4 v ČSN 730540-2 (2011) $U_{em,N,20}$: 0,39 W/m²K

Průměrný součinitel prostupu tepla zóny U_{em} : 0,15 W/m²K

PŘEHLEDNÉ VÝSLEDKY VÝPOČTU PRO CELOU BUDOVU :Faktor tvaru budovy A/V: 0,72 m²/m³**Rozložení měrných tepelných toků**

Zóna	Položka	Plocha [m ²]	Měrný tok [W/K]	Procento [%]
1	Celkový měrný tok H:	---	71,762	100,00 %
z toho:	Měrný tok větráním Hv:	---	5,122	7,14 %
	Měrný (ustálený) tok zeminou Hg:	---	12,733	17,74 %
	Měrný tok přes nevytápěné prostory Hu:	---	---	0,00 %
	Měrný tok tepelnými vazbami H,tb:	---	-3,146	-4,38 %
	Měrný tok do ext. plošnými kcemí Hd,c:	---	57,509	80,14 %
rozložení měrných toků po konstrukcích:				
	Otvorová výplň:	2,8	1,519	2,12 %
	okna J_1NP:	13,5	9,585	13,36 %
	okna J_2NP:	7,5	5,700	7,94 %
	okna V_2NP:	0,6	0,501	0,70 %
	okna S_1NP:	2,4	2,015	2,81 %
	okna S_2NP:	0,6	0,501	0,70 %
	okna Z_1NP:	5,1	3,544	4,94 %
	okna Z_2NP:	1,7	1,384	1,93 %
	S1_stěna:	229,4	22,247	31,00 %
	V1_střecha:	98,3	10,515	14,65 %
	P1_podlaha:	97,8	12,733	17,74 %

Měrný tok budovou a parametry podle starších předpisů

Součet celkových měrných tepelných toků jednotlivými zónami Hc:	72,159 W/K
Objem budovy stanovený z vnějších rozměrů:	635,4 m ³
Tepelná charakteristika budovy podle ČSN 730540 (1994):	0,11 W/m ³ K
Spotřeba tepla na vytápění podle STN 730540, Zmena 5 (1997):	8,3 kWh/(m ³ .a)

Poznámka: Orientační tepelnou ztrátu budovy lze získat vynásobením součtu měrných toků jednotlivých zón Hc působícím teplotním rozdílem mezi interiérem a exteriérem.

Průměrný součinitel prostupu tepla budovy

Měrný tepelný tok prostupem obálkou budovy Ht:	66,6 W/K
Plocha obalových konstrukcí budovy:	459,4 m ²
Výchozí hodnota požadavku na průměrný součinitel prostupu tepla podle čl. 5.3.4 v ČSN 730540-2 (2011) U _{em} ,N,20:	0,39 W/m ² K
Průměrný součinitel prostupu tepla budovy U_{em}:	0,15 W/m²K

Celková a měrná potřeba tepla na vytápění

Celková roční potřeba tepla na vytápění budovy:	7,074 GJ	1,965 MWh
Objem budovy stanovený z vnějších rozměrů:	635,4 m ³	
Celková energeticky vztažná podlah. plocha budovy:	195,5 m ²	
Měrná potřeba tepla na vytápění budovy (na 1 m ³):	3,1 kWh/(m ³ .a)	

Měrná potřeba tepla na vytápění budovy: 10 kWh/(m².a)

Hodnota byla stanovena pro počet denostupňů D = 3240.

Poznámka: Měrná potřeba tepla je stanovena bez vlivu účinností systémů výroby, distribuce a emise tepla.

Celková energie dodaná do budovy

Měsíc	Q _{f,H} [GJ]	Q _{f,C} [GJ]	Q _{f,RH} [GJ]	Q _{f,F} [GJ]	Q _{f,W} [GJ]	Q _{f,L} [GJ]	Q _{f,A} [GJ]
1	2,278	---	---	0,047	0,599	0,765	---
3,690							
2	1,223	---	---	0,042	0,580	0,609	---
2,454							

3	0,444	---	---	0,047	0,599	0,604	---
1,694							
4	---	---	---	0,045	0,593	0,522	---
1,160							
5	---	---	---	0,047	0,599	0,489	---
1,135							
6	---	---	---	0,045	0,593	0,457	---
1,095							
7	---	---	---	0,047	0,599	0,472	---
1,118							
8	---	---	---	0,047	0,599	0,489	---
1,135							
9	---	---	---	0,045	0,593	0,529	---
1,167							
10	0,080	---	---	0,047	0,599	0,600	---
1,326							
11	1,236	---	---	0,045	0,593	0,649	---
2,524							
12	2,107	---	---	0,047	0,599	0,759	---
3,511							

Vysvětlivky: Q,f,H je vypočtená spotřeba energie na vytápění; Q,f,C je vypočtená spotřeba energie na chlazení; Q,f,RH je vypočtená spotřeba energie na úpravu vlhkosti vzduchu; Q,f,F je vypočtená spotřeba energie na nucené větrání; Q,f,W je vypočtená spotřeba energie na přípravu teplé vody; Q,f,L je vypočtená spotřeba energie na osvětlení (popř. i na spotřebiče); Q,f,A je pomocná energie (čerpadla, regulace atd.) a Q,fuel je celková dodaná energie. Všechny hodnoty zohledňují vlivy účinností technických systémů.

Dodané energie:

Vyp.spotřeba energie na vytápění za rok Q,fuel,H:	7,368 GJ	2,047 MWh	10 kWh/m2
Pomocná energie na vytápění Q,aux,H:	---	---	---
Dodaná energie na vytápění za rok EP,H:	7,368 GJ	2,047 MWh	10 kWh/m2
Vyp.spotřeba energie na chlazení za rok Q,fuel,C:	---	---	---
Pomocná energie na chlazení Q,aux,C:	---	---	---
Dodaná energie na chlazení za rok EP,C:	---	---	---
Vyp.spotřeba energie na úpravu vlhkosti Q,fuel,RH:	---	---	---
Pomocná energie na úpravu vlhkosti Q,aux,RH:	---	---	---
Dodaná energie na úpravu vlhkosti EP,RH:	---	---	---
Vyp.spotřeba energie na nucené větrání Q,fuel,F:	0,551 GJ	0,153 MWh	1 kWh/m2
Pomocná energie na nucené větrání Q,aux,F:	---	---	---
Dodaná energie na nuc.větrání za rok EP,F:	0,551 GJ	0,153 MWh	1 kWh/m2
Vyp.spotřeba energie na přípravu TV Q,fuel,W:	7,144 GJ	1,984 MWh	10 kWh/m2
Pomocná energie na přípravu teplé vody Q,aux,W:	---	---	---
Dodaná energie na přípravu TV za rok EP,W:	7,144 GJ	1,984 MWh	10 kWh/m2
Vyp.spotřeba energie na osvětlení a spotř. Q,fuel,L:	6,945 GJ	1,929 MWh	10 kWh/m2
Dodaná energie na osvětlení za rok EP,L:	6,945 GJ	1,929 MWh	10 kWh/m2
Celková roční dodaná energie Q,fuel=EP:	22,009 GJ	6,114 MWh	31 kWh/m2

Měrná dodaná energie budovy

Celková roční dodaná energie:	6,114 MWh
Objem budovy stanovený z vnějších rozměrů:	635,4 m3
Celková energeticky vztažná podlah. plocha budovy:	195,5 m2
Měrná dodaná energie EP,V:	9,6 kWh/(m3.a)
Měrná dodaná energie budovy EP,A:	31 kWh/(m2.a)

Poznámka: Měrná dodaná energie zahrnuje veškerou dodanou energii včetně vlivů účinností tech. systémů.

Rozdělení dodané energie podle energonositelů, primární energie a emise CO2

Energo- nositel	Faktory transformace			Vytápění				Teplá voda			
	f,pN	f,pC	f,CO2	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO2	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO2
elektřina ze sítě	3,0	3,2	1,1700	2,0	6,1	6,5	2,4	2,0	6,0	6,4	2,3
SOUČET				2,0	6,1	6,5	2,4	2,0	6,0	6,4	2,3

Energo- nositel	Faktory transformace			Osvětlení				Pom.energie			
	f,pN	f,pC	f,CO2	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO2	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO2
elektřina ze sítě	3,0	3,2	1,1700	1,9	5,8	6,2	2,3	---	---	---	---
SOUČET				1,9	5,8	6,2	2,3	---	---	---	---

Energo- nositel	Faktory transformace			Nuc.větrání				Chlazení			
	f,pN	f,pC	f,CO2	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO2	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO2
elektřina ze sítě	3,0	3,2	1,1700	0,2	0,5	0,5	0,2	---	---	---	---
SOUČET				0,2	0,5	0,5	0,2	---	---	---	---

Energo- nositel	Faktory transformace			Úprava RH				Export elektřiny		
	f,pN	f,pC	f,CO2	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO2	Q,el	Q,pN	Q,pC
elektřina ze sítě	3,0	3,2	1,1700	---	---	---	---	---	---	---
SOUČET				---	---	---	---	---	---	---

Vysvětlivky: f,pN je faktor neobnovitelné primární energie v kWh/kWh; f,pC je faktor celkové primární energie v kWh/kWh; f,CO2 je součinitel emisí CO2 v kg/kWh; Q,f je vypočtená spotřeba energie dodávaná na daný účel příslušným energonositelem v MWh/rok; Q,el je produkce elektřiny v MWh/rok; Q,pN je neobnovitelná primární energie a Q,pC je celková primární energie použitá na daný účel příslušným energonositelem v MWh/rok a CO2 jsou s tím spojené emise CO2 v t/rok.

Součty pro jednotlivé energonositele:	Q,f [MWh/a]	Q,pN [MWh/a]	Q,pC [MWh/a]	CO2 [t/a]
elektřina ze sítě	6,114	18,341	19,563	7,153
SOUČET	6,114	18,341	19,563	7,153

Vysvětlivky: Q,f je energie dodaná do budovy příslušným energonositelem v MWh/rok; Q,pN je neobnovitelná primární energie a Q,pC je celková primární energie použitá příslušným energonositelem v MWh/rok a CO2 jsou s tím spojené emise CO2 v t/rok.


Měrná primární energie a emise CO2 budovy

Emise CO2 za rok:	7,153 t	
Celková primární energie za rok:	19,563 MWh	70,428 GJ
Neobnovitelná primární energie za rok:	18,341 MWh	66,027 GJ
Objem budovy stanovený z vnějších rozměrů:	635,4 m3	
Celková energeticky vztažná podlah. plocha budovy:	195,5 m2	
Měrné emise CO2 za rok (na 1 m3):	11,3 kg/(m3.a)	
Měrná celková primární energie E,pC,V:	30,8 kWh/(m3.a)	
Měrná neobnovitelná primární energie E,pN,V:	28,9 kWh/(m3.a)	
Měrné emise CO2 za rok (na 1 m2):	37 kg/(m2.a)	
Měrná celková primární energie E,pC,A:	100 kWh/(m2.a)	
Měrná neobnovitelná primární energie E,pN,A:	94 kWh/(m2.a)	

STOP, Energie 2015 LT

9.6 Příloha č. 6: ENERGIE 2015 LT - Průkaz energetické náročnosti budovy

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY	
vydaný podle zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, a vyhlášky č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov	
Ulice, číslo:	Padělký 200
PSČ, místo:	675 73 Rapotice
Typ budovy:	Rodinný dům
Plocha obálky budovy:	459,4 m ²
Objemový faktor tvaru A/V:	0,72 m ² /m ³
Energeticky vztázná plocha:	195,5 m ²



ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOVY	
Celková dodaná energie (Energie na vstupu do budovy)	Neobnovitelná primární energie (Vliv provozu budovy na životní prostředí)
Měrné hodnoty kWh/(m ² ·rok)	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="background-color: #2e8b57; color: white; padding: 5px; text-align: center;">Mimořádně úsporná A</div> <div style="margin: 0 10px;">← 58</div> <div style="border: 2px solid black; padding: 5px; text-align: center;">31</div> <div style="margin-left: 10px;">A</div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="background-color: #1e90ff; width: 40px; height: 40px; margin-right: 10px;"></div> <div style="margin: 0 10px;">← 75</div> <div style="border: 2px solid black; width: 100px; height: 40px;"></div> </div>
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="background-color: #2e8b57; color: white; padding: 5px; text-align: center;">Velmi úsporná B</div> <div style="margin: 0 10px;">← 87</div> <div style="border: 2px solid black; width: 100px; height: 40px;"></div> <div style="margin-left: 10px;">B</div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="background-color: #1e90ff; width: 40px; height: 40px; margin-right: 10px;"></div> <div style="margin: 0 10px;">← 113</div> <div style="border: 2px solid black; padding: 5px; text-align: center;">94</div> <div style="margin-left: 10px;">B</div> </div>
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="background-color: #2e8b57; color: white; padding: 5px; text-align: center;">Úsporná C</div> <div style="margin: 0 10px;">← 117</div> <div style="border: 2px solid black; width: 100px; height: 40px;"></div> <div style="margin-left: 10px;">C</div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="background-color: #1e90ff; width: 40px; height: 40px; margin-right: 10px;"></div> <div style="margin: 0 10px;">← 150</div> <div style="border: 2px solid black; width: 100px; height: 40px;"></div> </div>
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="background-color: #ffff00; color: black; padding: 5px; text-align: center;">Méně úsporná D</div> <div style="margin: 0 10px;">← 175</div> <div style="border: 2px solid black; width: 100px; height: 40px;"></div> <div style="margin-left: 10px;">D</div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="background-color: #1e90ff; width: 40px; height: 40px; margin-right: 10px;"></div> <div style="margin: 0 10px;">← 225</div> <div style="border: 2px solid black; width: 100px; height: 40px;"></div> </div>
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="background-color: #ffa500; color: black; padding: 5px; text-align: center;">Nehospodárná E</div> <div style="margin: 0 10px;">← 233</div> <div style="border: 2px solid black; width: 100px; height: 40px;"></div> <div style="margin-left: 10px;">E</div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="background-color: #1e90ff; width: 40px; height: 40px; margin-right: 10px;"></div> <div style="margin: 0 10px;">← 300</div> <div style="border: 2px solid black; width: 100px; height: 40px;"></div> </div>
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="background-color: #ffa500; color: black; padding: 5px; text-align: center;">Velmi nehospodárná F</div> <div style="margin: 0 10px;">← 291</div> <div style="border: 2px solid black; width: 100px; height: 40px;"></div> <div style="margin-left: 10px;">F</div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="background-color: #1e90ff; width: 40px; height: 40px; margin-right: 10px;"></div> <div style="margin: 0 10px;">← 375</div> <div style="border: 2px solid black; width: 100px; height: 40px;"></div> </div>
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="background-color: #ff0000; color: white; padding: 5px; text-align: center;">Mimořádně nehospodárná G</div> <div style="margin: 0 10px;">← 291</div> <div style="border: 2px solid black; width: 100px; height: 40px;"></div> <div style="margin-left: 10px;">G</div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="background-color: #1e90ff; width: 40px; height: 40px; margin-right: 10px;"></div> <div style="margin: 0 10px;">← 375</div> <div style="border: 2px solid black; width: 100px; height: 40px;"></div> </div>
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>Hodnoty pro celou budovu MWh/rok</div> <div>6,114</div> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div></div> <div>18,341</div> </div>

DOPORUČENÁ OPATŘENÍ

Opatření pro	Stanovena	Popis opatření je v protokolu průkazu a vyhodnocení jejich dopadu na energetickou náročnost je znázorněno šipkou Doporučení
Vnější stěny:	<input type="checkbox"/>	
Okna a dveře:	<input type="checkbox"/>	
Střechu:	<input type="checkbox"/>	
Podlahu:	<input type="checkbox"/>	
Vytápění:	<input type="checkbox"/>	
Chlazení/klimatizaci:	<input type="checkbox"/>	
Větrání:	<input type="checkbox"/>	
Přípravu teplé vody:	<input type="checkbox"/>	
Osvětlení:	<input type="checkbox"/>	
Jiné:	<input type="checkbox"/>	

PODÍL ENERGOPOSITELŮ NA DODANÉ ENERGII

Hodnoty pro celou budovu
MWh/rok

■ Elektrina ze sítě: 6,1

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
	U_{em} W/(m ² ·K) 	Dílčí dodané energie		Měrné hodnoty kWh/(m ² ·rok)			
Mimořádně úsporná	0,15	10		1			
A						10	
B							10
C							
D							
E							
F							
G							
Mimořádně ne hospodárná							
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok		2,05		0,15		1,98	1,93

Zpracovatel: Libor Šteffek

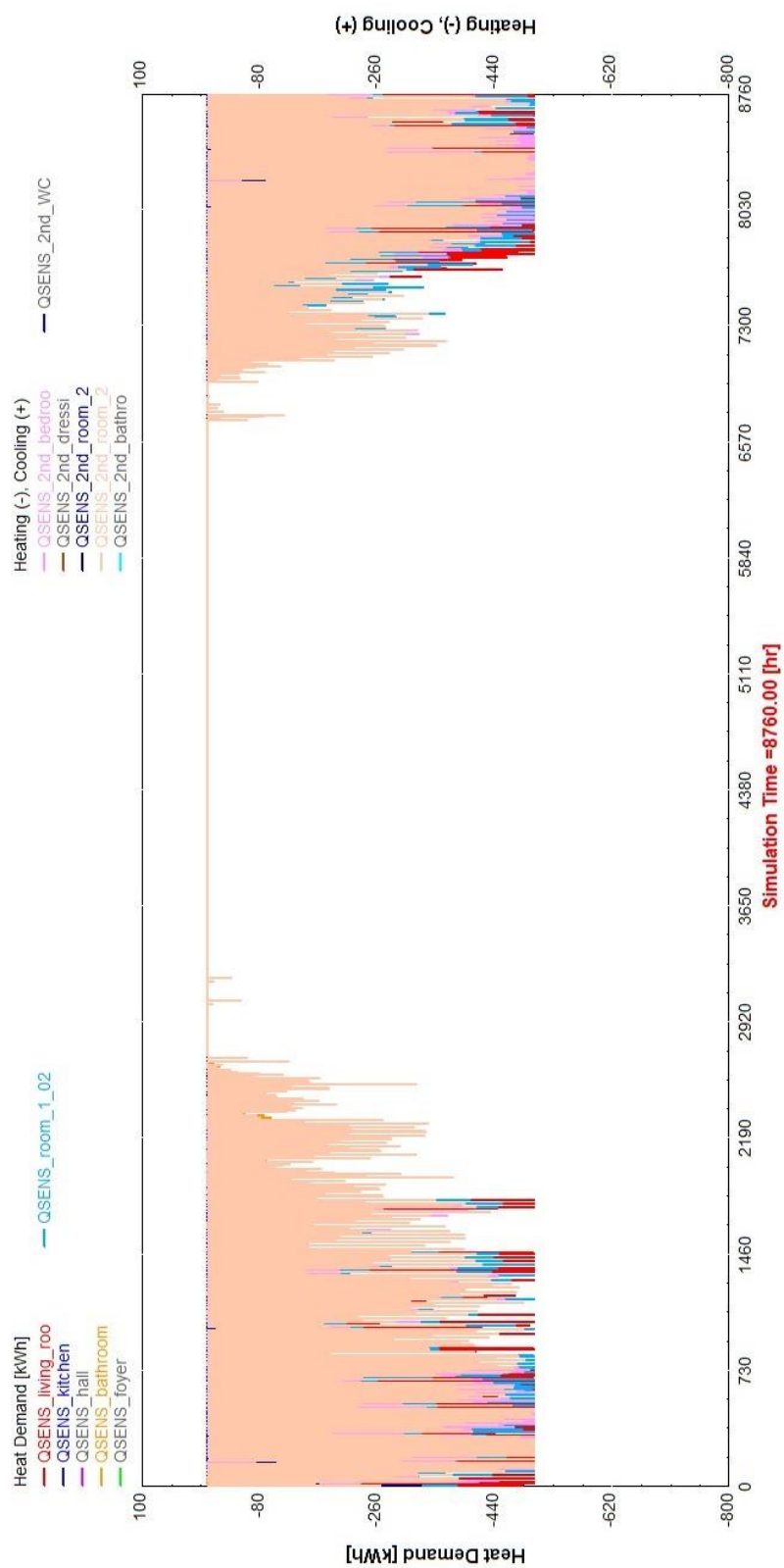
Kontakt:

Osvědčení č.:

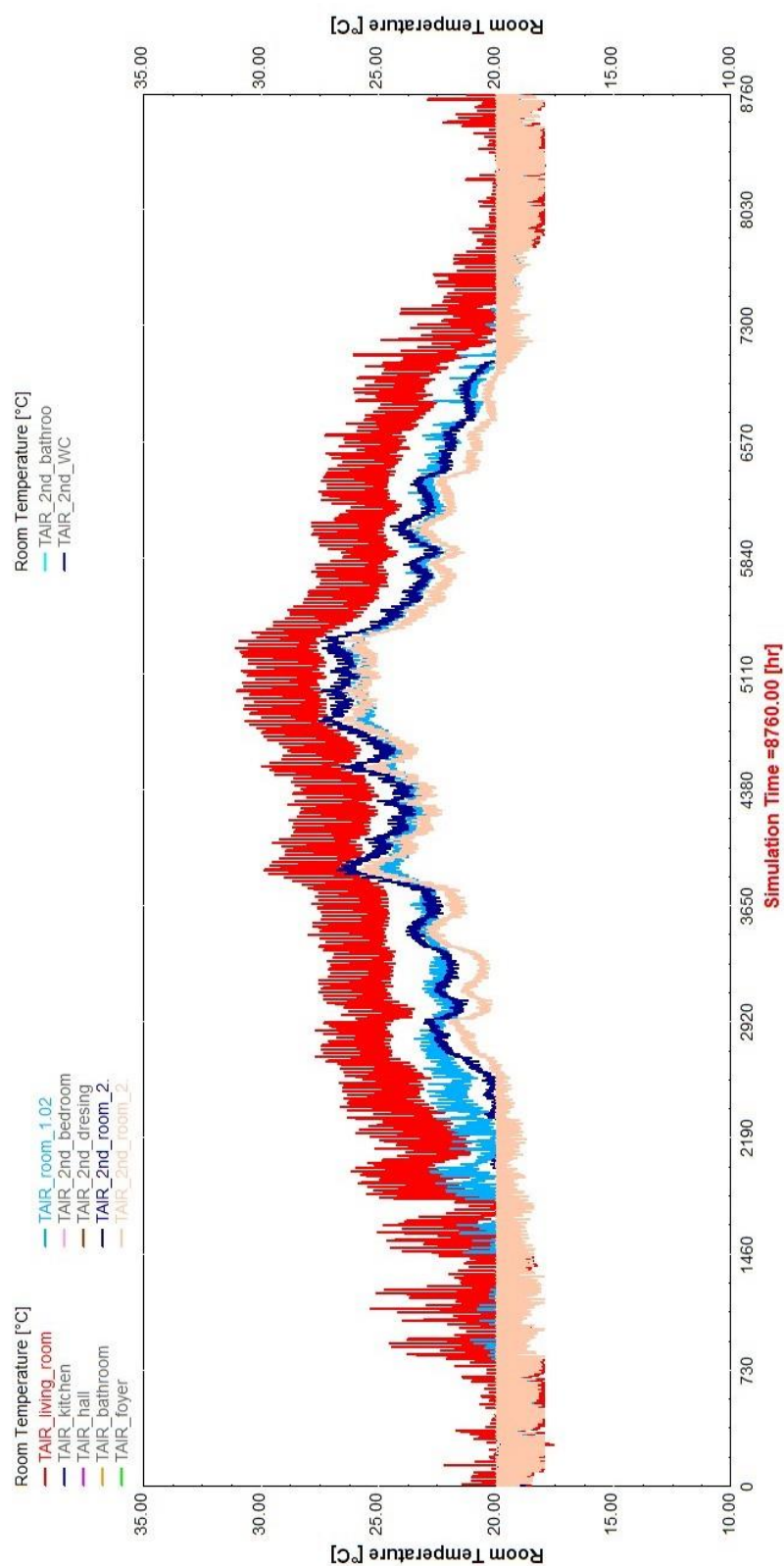
Vyhotoveno dne: 11.7.2019

Podpis:

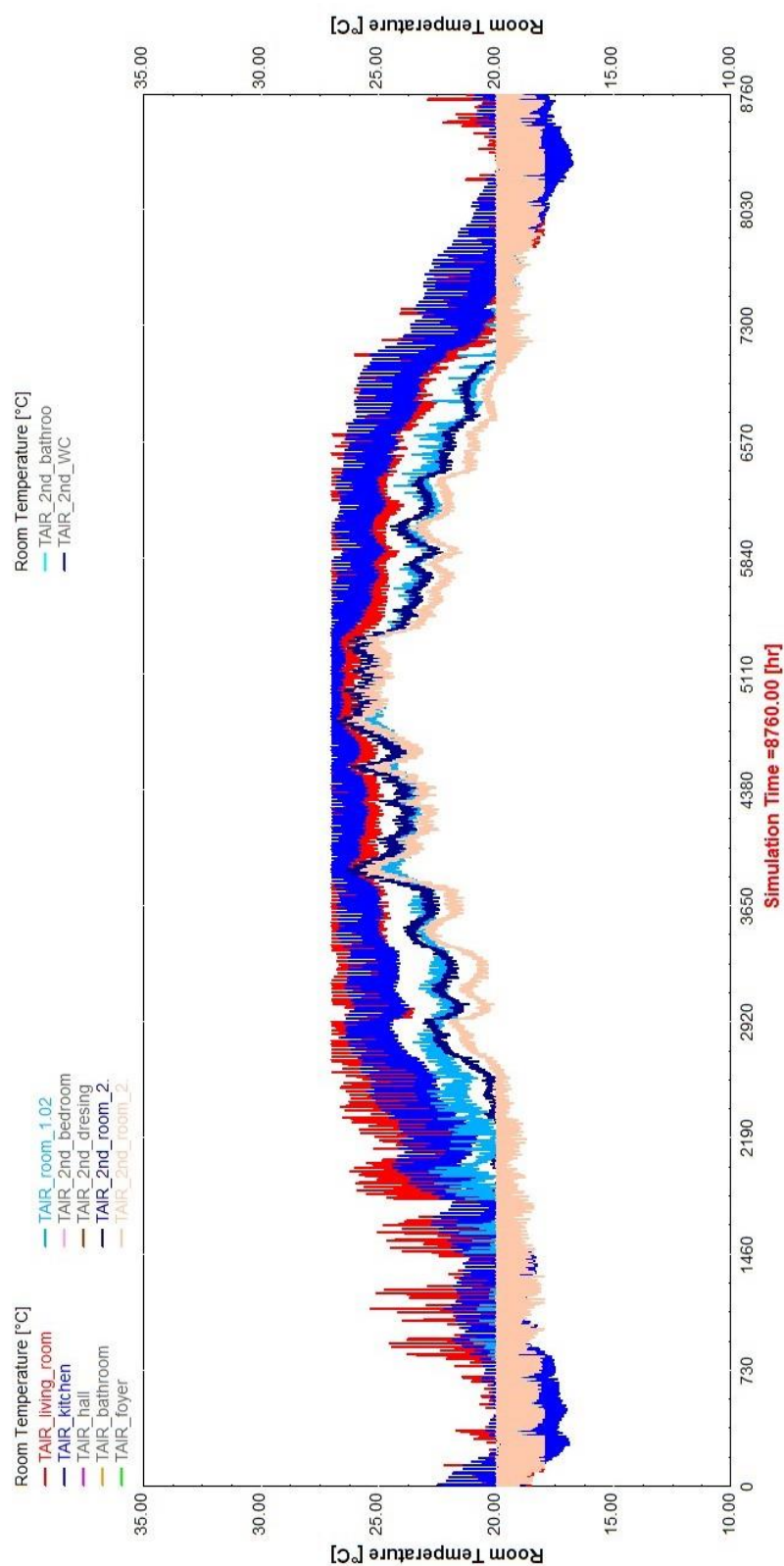
9.7 Příloha č. 7: VYTÁPĚNÍ – Průběh energetické spotřeby vytápění pro jednotlivé teplotní zóny – TI



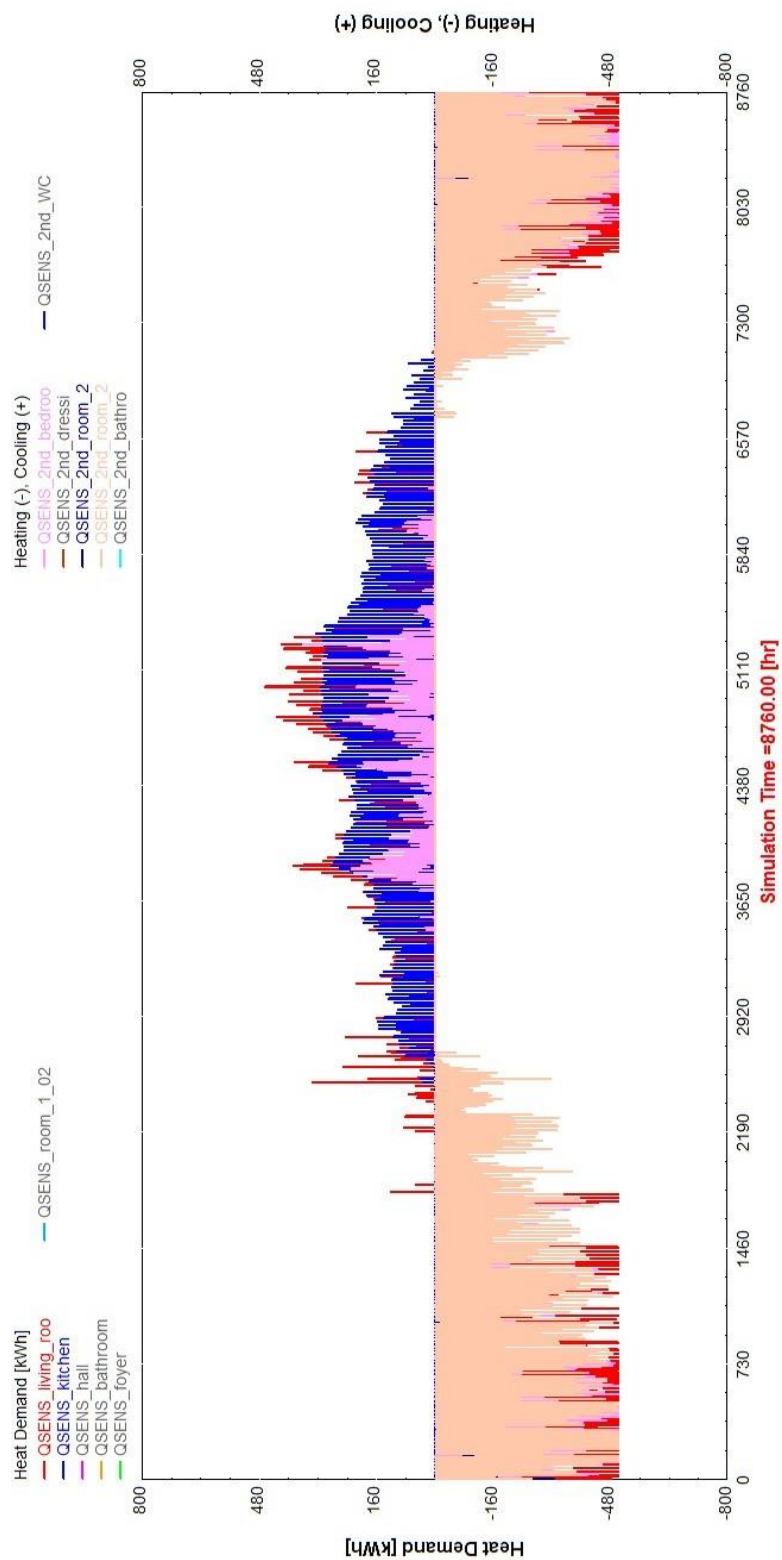
9.8 Příloha č. 8: CHLAZENÍ – Průběh teplot v místnostech bez užití chlazení – CHI



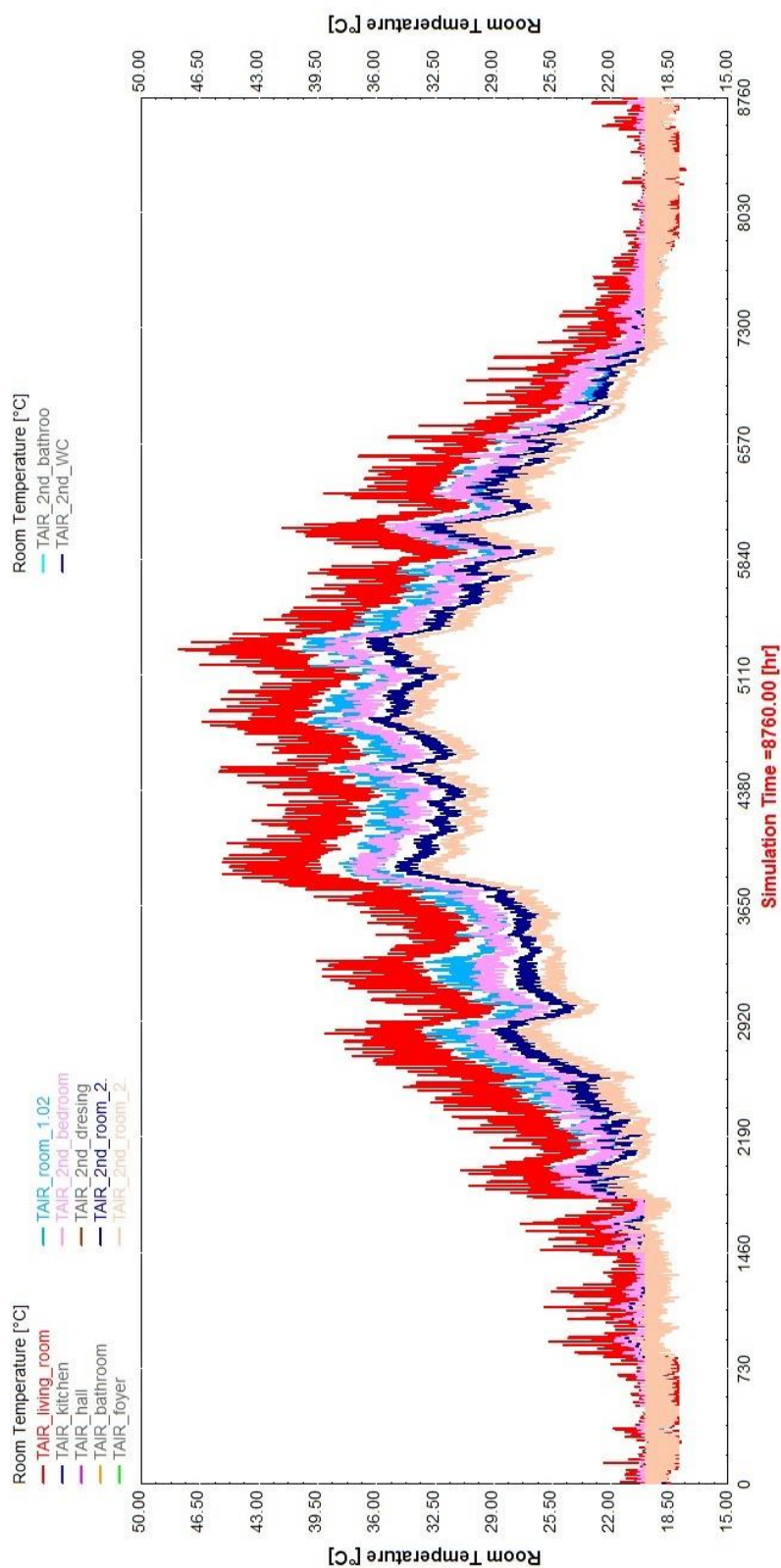
9.9 Příloha č. 9: CHLAZENÍ – Průběh teplot v místnostech s užitým chlazením na maximální teplotu 27 °C – CH4



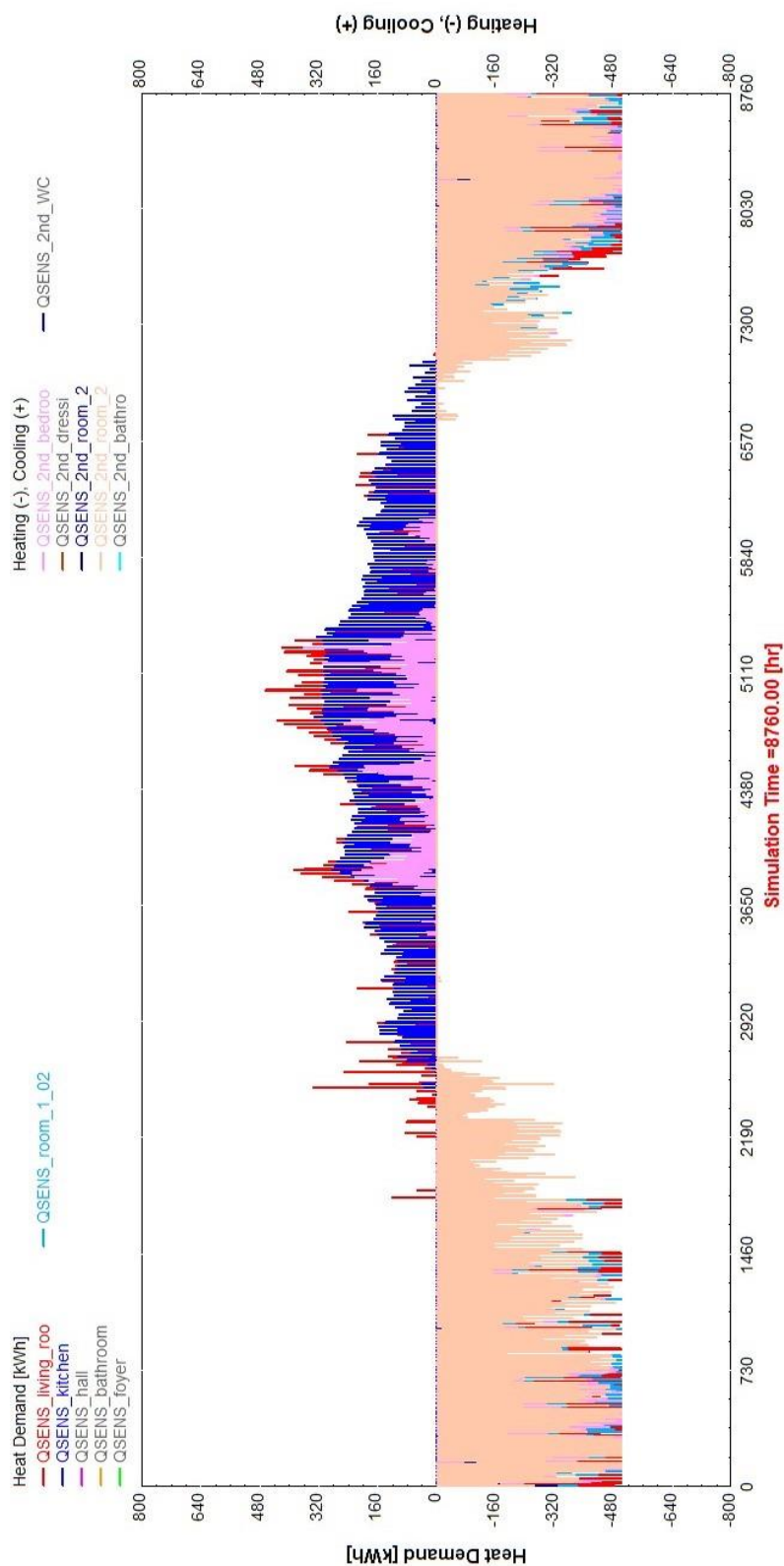
9.10 Příloha č. 10: CHLAZENÍ – Průběh energetické spotřeby vytápění (20°C) a chlazení (max. 27 °C) pro jednotlivé teplotní zóny – CH4



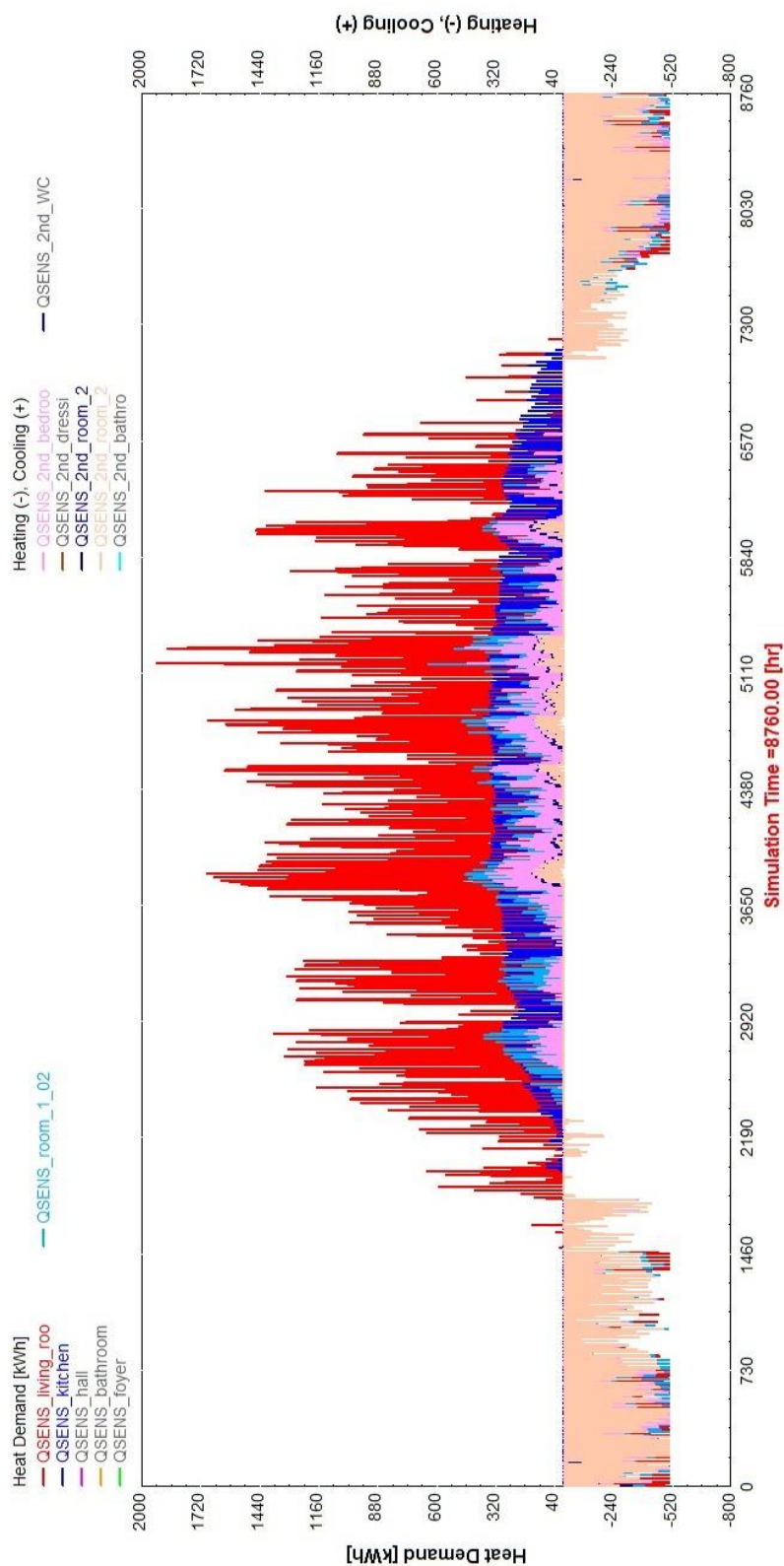
9.12 Příloha č. 12: STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ I – Průběh teplot v místnostech bez stínění - S8



9.13 Příloha č. 13: STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ II – Průběh energetické spotřeby při stínění SI a chlazení CH4 pro jednotlivé teplotní zóny



9.14 Příloha č. 14: STÍNĚNÍ A CLONĚNÍ II – Průběh energetické spotřeby při stínění S8 a chlazení CH4 pro jednotlivé teplotní zóny



9.17 Příloha č. 17: OPTIMALIZACE – Průběh energetické spotřeby – O2

